

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas  
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA MICROGENERACIÓN FOTOVOLTAICA  
PARA RESIDENCIAS EN LA CIUDAD DE IBARRA**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la  
obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

AUTOR:

Geovanny Alexander Martínez Hernández

TUTOR:

MSc. Jhonny Barzola

Ibarra, 2020



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1721891164
APELLIDOS Y NOMBRES:	Martínez Hernández Geovanny Alexander
DIRECCIÓN:	Rio Babahoyo y Calle A (San Gabriel – Carchi)
EMAIL:	gamartinezh@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL:	0986152068

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA MICROGENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA RESIDENCIAS EN LA CIUDAD DE IBARRA
AUTOR (ES):	Martínez Hernández Geovanny Alexander
FECHA: DD/MM/AAAA	30/09/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Jhonny Barzola

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los dos días del mes de octubre de 2020

**EL AUTOR:**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Geovanny Martínez', is written over a horizontal dotted line.

Geovanny Martínez

1721891164



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO**

Yo, Jhonny Barzola en calidad de tutor del señor estudiante: Martínez Hernández Geovanny Alexander, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **"ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA MICROGENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA RESIDENCIAS EN LA CIUDAD DE IBARRA"**. Para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico; aprobando la defensa, impresión y empastado.

MSc. Jhonny Barzola  
**DIRECTOR DE TESIS**

## **Dedicatoria**

Dedico el presente trabajo con mucho amor a mis abuelitos, Rodrigo Hernández y Rosa Vizcaíno por estar siempre conmigo apoyándome e inculcándome valores de responsabilidad, trabajo y sacrificio que me encaminaron por un buen sendero, son mi más grande inspiración y agradezco a Dios por permitirme ser su nieto, amigo e hijo. Gracias infinitas abuelitos, este logro académico es por ustedes.

A mis padres, Wilmer Martínez y Leticia Hernández por su amor, dedicación y sacrificio en todo este camino que me ha permitido alcanzar una meta más en mi vida, gracias por todo ese apoyo constante.

A mis hermanos: Maritza, Byron, Maryuri Martinez por su apoyo en esta etapa de mi vida y regalarme la dicha de ser tío,,,, y a ti Anderson Montenegro Hernández mi hermanito menor gracias por ser mi más grande amigo en el que puedo confiar plenamente.

A mis tíos, Nelson, Enma y Mauricio Hernández por su apoyo incondicional desde mi niñez y muestras de cariño en todo este tiempo. A mi tía (†) Marujita Hernández, yo sé que desde el cielo aun me cuidas.

A mis familiares, amigos y compañeros de la carrera universitaria que me extendieron una mano para ayudarme que con palabras de aliento me impulsaron en los momentos difíciles.

*Georanny Martínez*

## **Agradecimientos**

Primeramente, agradecer a Dios por todas las bendiciones recibidas en cada etapa de mi vida, brindándome fortaleza, salud y sabiduría en la lucha constante de superación personal.

Mi eterno agradecimiento a la UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE por permitir formarme como profesional en esta prestigiosa institución.

A la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas y en especial a las autoridades, docentes, compañeros y todas aquellas personas que conforman la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, gracias por todas sus enseñanzas, confianza y apoyo en estos cinco años de formación académica.

A mi director de tesis MSc. Jhonny Barzola por sus consejos, asesorías y enseñanzas. También por su oportunas ayudas y guías en la culminación de este trabajo quiero agradecer al PhD. Gerardo Collaguazo y a la MSc. Eliana Ormeño.

A la familia Santander Ocles por permitirme realizar este estudio de investigación en su domicilio.

*Georanny Martínez*

## Tabla de Contenido

Identificación de la obra.....	ii
Constancias.....	iii
Certificación del director del trabajo.....	iv
Dedicatoria .....	v
Agradecimientos.....	vi
Tabla de Contenido .....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tablas .....	xiii
Resumen.....	xiv
Abstract .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
Antecedentes.....	xvi
Problema de investigación .....	xvii
Formulación del problema.....	xviii
Objetivos.....	xviii
Objetivo General .....	xviii
Objetivos Específicos .....	xviii
Justificación .....	xix
CAPÍTULO 1 .....	1
Microgeneración fotovoltaica .....	1
1.1 Cadena productiva de la electricidad .....	1
1.2 Fuentes de energías renovables .....	2
1.2.1 Energía Hidráulica.....	2
1.2.2 Energía Eólica .....	4
1.2.3 Energía Geotérmica .....	5
1.2.4 Energía Solar .....	6

1.3 Energía solar fotovoltaica.....	7
1.3.1 Radiación Solar .....	7
1.3.2 Tipos de radiación solar.....	8
1.3.3 Irradiancia.....	9
1.3.4 Irradiación.....	9
1.3.5 Horas solar pico (HSP) .....	9
1.3.6 Características de una instalación fotovoltaica .....	10
1.3.7 Clasificación de las instalaciones fotovoltaicas.....	11
1.3.8 Sistema fotovoltaico autónomo o aislado.....	11
1.3.9 Sistema fotovoltaico conectado a la red .....	12
1.3.10 Componentes de un sistema fotovoltaico .....	12
1.3.11 Pérdidas en sistemas fotovoltaicos.....	16
1.4 Microgeneración .....	16
1.4.1 Características de la microgeneración.....	17
1.4.2 Ventajas de la microgeneración .....	17
1.4.3 Desventajas de la microgeneración .....	18
1.5 Energía Renovable en Ecuador .....	18
1.6 Generación Fotovoltaica en Ecuador .....	18
1.6.1 Impactos de la energía solar fotovoltaica en la zona 1 de Ecuador.....	19
1.7 Marco Regulatorio Ecuatoriano.....	21
1.7.1 LOSPEE .....	21
1.7.2 SENPLADES.....	21
1.7.3 ARCONEL .....	21
CAPÍTULO 2 .....	24
Fundamentación para el diseño del sistema fotovoltaico .....	24
2.1 Introducción .....	24
2.2 Metodología de la investigación .....	24



2.3. Ubicación geográfica del tema de estudio .....	25
2.4 Desarrollo del proyecto .....	26
2.5 Metodología de cálculo para el dimensionamiento de un sistema microfotovoltaico conectado a la red .....	26
2.5.1 Cálculo del consumo de energía eléctrica (demanda) .....	26
2.5.2 Estudio de radiación solar en la ciudad de Ibarra .....	28
a) Datos de radiación solar del Atlas Solar del Ecuador .....	28
b) Datos de radiación solar de la NASA .....	29
c) Datos de radiación solar de SOLARGIS .....	30
2.6 Producción de energía fotovoltaica mediante la radiación solar .....	31
2.6.1 Dimensionamiento de los componentes fotovoltaicos .....	32
2.6.2 Dimensionamiento del microsistema fotovoltaico .....	33
2.7 Cálculo de la inclinación, orientación, separación de los módulos fotovoltaicos ...	33
2.7.1 Cálculo de inclinación y orientación de los paneles solares .....	33
2.7.2 Separación y sombras en los paneles fotovoltaicos .....	34
2.8 Software en el área de energías renovables .....	35
2.8.1 HOMER Pro .....	35
2.8.2 Guía general de HOMER Pro .....	36
2.9 Viabilidad económica .....	42
2.9.1 Valor actual neto (VAN) .....	42
2.9.2 Tasa interna de retorno (TIR) .....	43
2.9.3 Periodo de recuperación (PAYBACK) .....	43
CAPÍTULO 3 .....	44
Análisis e interpretación de resultados .....	44
3.1 Propuesta de la investigación .....	44
3.2 Viabilidad técnica .....	44
3.2.1 Dimensionamiento del sistema microfotovoltaico conectado a la red .....	44

3.2.2 Análisis estadístico del consumo eléctrico .....	45
3.2.3 Análisis estadístico de radiación solar .....	46
3.2.4 Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos.....	47
3.2.5 Selección del inversor.....	51
3.2.6 Producción de energía fotovoltaica mensual .....	52
3.2.7 Energía fotovoltaica efectiva vs Energía consumida por el usuario.....	54
3.3 Viabilidad económica .....	55
3.3.1 Inversión inicial .....	55
3.3.2 Ingresos y egresos anuales .....	55
3.4 Simulaciones en HOMER Pro .....	63
3.4.1 Resultados de la simulación.....	65
Conclusiones .....	68
Recomendaciones .....	69
Referencias .....	70
Anexo A: Licencia HOMER Pro.....	77
Anexo B: Facturación del historial de consumo eléctrico.....	80
Anexo C: Cotización de equipos .....	82
Anexo D: Cálculo de producción fotovoltaica mensual.....	94
Anexo E: Método de regresión lineal simple .....	96
Anexo F: Producción fotovoltaica con 5 y 8 paneles de 335W .....	98
Anexo G: Inversión inicial.....	100
Anexo H: Tratamiento comercial kits solar de 5 paneles de 335W .....	101
Anexo I: Tratamiento comercial kits solar de 8 paneles de 335W .....	102
Anexo J: Fotografías.....	104

## Índice de Figuras

FIG. 1: Cadena productiva de electricidad.....	1
FIG. 2: Central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair .....	3
FIG. 3: Parque eólico Villonaco .....	4
FIG. 4: Central geotérmica.....	5
FIG. 5: Energía solar .....	6
FIG. 6: Sistema fotovoltaico .....	7
FIG. 7: Tipos de radiación.....	9
FIG. 8: Horas solar pico .....	10
FIG. 9: Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo .....	11
FIG. 10: Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red .....	12
FIG. 11: Panel solar 175 W.....	12
FIG. 12: Batería 20ah/12vdc.....	13
FIG. 13: Regulador de carga solar.....	13
FIG. 14: Inversor fronius symo 10.0-1 a 15.01 .....	14
FIG. 15: Elementos de protección eléctrica .....	14
FIG. 16: Sistema de montaje de paneles solares .....	15
FIG. 17: Medidor de energía bidireccional.....	15
FIG. 18: Autogeneración doméstica .....	17
FIG. 19: Mapa solar del ecuador con fines de generación eléctrica .....	19
FIG. 20: Esquema de instalación del $\mu$ sfv .....	22
FIG. 21: Balance neto de energía.....	23
FIG. 22: Diagrama de flujo de la metodología empleada .....	25
FIG. 23: Mapa geográfico de la ciudad de ibarra .....	25
FIG. 24: Desarrollo del tema de estudio .....	26
FIG. 25: Mapa atlas solar del ecuador.....	28
FIG. 26: Irradiación solar en ibarra .....	29
FIG. 27: Datos radiación solar de la nasa.....	29
FIG. 28: Datos radiación solar mes (software retscrenn) .....	30
FIG. 29: Radiación solar en solargis.....	30
FIG. 30: Radiación solar-mes (software solargis).....	31
FIG. 31: Distancia entre paneles solares .....	34
FIG. 32: Ventana principal del software homerpro .....	36
FIG. 33: Perfil de carga eléctrica .....	37
FIG. 34: Sistema grid .....	37
FIG. 35: Generador .....	38

FIG. 36: Componentes de energía renovable.....	38
FIG. 37: Almacenamiento de energía (baterías).....	39
FIG. 38: Cálculo del sistema.....	39
FIG. 39: Característica de la simulación .....	40
FIG. 40: Precio de compra - venta de energía eléctrica .....	40
FIG. 41: Configuración del inversor de red (homerpro) .....	41
FIG. 42: Configuración panel solar (homerpro) .....	41
FIG. 43: Esquema del sistema fotovoltaico .....	42
FIG. 44: Historial del consumo eléctrico kWh.....	45
FIG. 45: Medidas del panel fotovoltaico de 390 W .....	50
FIG. 46: Inversor sunny boy 2.0.....	51
FIG. 47: Curva de degradación para paneles jinko jkm 390 W .....	53
FIG. 48: Energía fotovoltaica efectiva vs energía consumida .....	57
FIG. 49: Proyección de energía inyectada a la red vs la consumida .....	61
FIG. 50: Proyección de energía fotovoltaica inyectada a la red con 8 paneles de 335 W .....	63
FIG. 51: Ingreso de datos (homerpro) .....	64
FIG. 52: Carga eléctrica (homerpro) .....	64
FIG. 53: Diseño del panel (homerpro) .....	65
FIG. 54: Esquema final (homerpro) .....	65
FIG. 55: Energía comprada a la red vs energía vendida (inyectada) a la red .....	65
FIG. 56: Producción total de energía renovable (homerpro) .....	66
FIG. 57: Producción fotovoltaica anual (homerpro) .....	66
FIG. 58: Producción fotovoltaica kit 5 paneles solares .....	99
FIG. 59: Producción fotovoltaica kit 8 paneles solares.....	100

## Índice de Tablas

TABLA 2. 1 Pérdidas en los sistemas fotovoltaicos .....	27
TABLA 2. 2 Demanda diaria.....	27
TABLA 2. 3 Potencia de equipos eléctricos.....	34
TABLA 3. 1 Valor k según inclinación del mes .....	45
TABLA 3. 2 Registro de consumo eléctrico .....	46
TABLA 3. 3 Parametros solares .....	47
TABLA 3. 4 Características de paneles solares .....	47
TABLA 3. 5 Horas solar pico .....	48
TABLA 3. 6 Medidas de los paneles solares .....	50
TABLA 3. 7 Datos del inversor de red .....	52
TABLA 3. 8 Energía fotovoltaica efectiva .....	52
TABLA 3. 9: Degradación del panel jinko jkm 390.....	53
TABLA 3. 10 Energía fotovoltaica efectiva vs energía consumida (2019).....	54
TABLA 3. 11 Inversión inicial .....	55
TABLA 3. 12 Regresión lineal simple (2021 – 2040) .....	56
TABLA 3. 13 Tratamiento comercial.....	56
TABLA 3. 14 Ingresos anuales.....	58
TABLA 3. 15 Valor actual neto .....	58
TABLA 3. 16 Energía fotovoltaica efectiva con 5 y 8 paneles de 335W .....	60
TABLA 3. 17 VAN kit solar de 5 paneles de 335 w.....	60
TABLA 3. 18 VAN kit solar de 8 paneles de 335 w.....	62

## Resumen

En nuestro país el aprovechamiento de las energías renovables es de gran importancia, el aprovechamiento de la luz solar se presenta como una alternativa positiva ya que la captación de los rayos solares y transformación de esta en energía eléctrica por parte de centrales fotovoltaicas ayuda a diversificar la matriz energética en Ecuador y no depender únicamente de la energía hidroeléctrica.

El presente trabajo se enfoca en realizar un estudio técnico – económico para la implementación de un sistema microfotovoltaico para los usuarios de EMELNORTE S.A de la ciudad de Ibarra, esta investigación se la realiza de acuerdo con la regulación Nro. ARCONEL – 003/18 “Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores de energía eléctrica”.

Para la realización de este proyecto se realiza cálculos para el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica teniendo en cuentas las características técnicas y meteorológicas del lugar de estudio, se optó por estudiar a un usuario de EMELNORTE obteniendo datos de facturación del servicio eléctrico y su comportamiento mensual en dicha empresa.

El resultado de esta investigación analiza la viabilidad técnica y su rentabilidad económica desde dos perspectivas, la primera es considerando que la generación de la instalación fotovoltaica sea igual al consumo eléctrico facturado en el año 2019 y la otra es sobredimensionando el sistema, en ambos casos tiene como finalidad reducir la demanda de energía del usuario.

La regulación Nro. ARCONEL – 003/18 se presenta como una alternativa positiva para incentivar la instalación de microsistemas fotovoltaicos en domicilios residenciales pues el Estado ecuatoriano para darle más viabilidad a estos emprendimientos exonera el pago de aranceles e impuestos adicionales para la importación de equipos renovables y con ello se genera un menor costo de inversión.

Palabras clave: Energías renovables, regulación, microgeneración fotovoltaica, energía solar fotovoltaica, inyección a la red.

## **Abstract**

In our country, the use of renewable energies is of great importance. The use of sunlight presents as a positive option insomuch as the catching the sun's rays and the transformation of it in electrical energy by photovoltaic centrals, it helps to diversify the energetic matrix in Ecuador and it permits not depend only of hydraulic energy.

The present work focuses carrying the theoretical – economic study for implementation of the microphotovoltaic system for the EMERLNORTE S.A customers of Ibarra city, this research is carried out according with the regulation of ARCONEL 003/18 "Photovoltaic Microgeneration for self-sufficiency of electrical energy consumers.

To carry out this project, we do calculation for the sizing for the photovoltaic installation, we had taken into account the technical and meteorological characteristics of the study site, we have opted to study an EMELNORTE custom, and we have gotten the electrical service billing information and their monthly behavior in the company.

The result of this research analyzes the technical viability and economic profitability from two perspectives: the first we have considered that the generation of photovoltaic installation is the same to the billing of the electric service in the year 2019, the second is the oversizing system, they both are intended to reduce energy demand of the custom.

The regulation of ARCONEL 003/18 presents as a possitive option to incentive the photovoltaic microsystems instalation in residentials homes, Ecuadorian state to give more viability to this venture exempt from tariffs and aditonals taxes for the import of the renewable eqipment and with this we can generate a lower investment cost.

Key words: Renewables energies, regulation, photovoltaic microgeneration, Photovoltaic Solar Energy, injection to the network

# INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

Durante los últimos 250 años, las fuentes de energía explotadas en el mundo han sido fundamentalmente no renovables. A partir del siglo XVIII y como parte de la revolución industrial el uso del carbón comenzó a ser intensivo en los procesos industriales, dando paso posteriormente al uso del petróleo. Lamentablemente la utilización de este tipo de combustibles conlleva procesos contaminantes que en las últimas décadas han colaborado a empeorar el panorama medioambiental a nivel mundial. De esta forma, en el contexto ambiental, surgen las energías renovables como respuesta a la demanda social para reducir emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes de acción directa (Gonzáles, 2008).

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP) en su objetivo 7 sobre la “Energía asequible y no contaminante”. Menciona que desde el 2011 y gracias a los esfuerzos por promover la energía limpia, más de un 20 por ciento de la energía mundial es generada por fuentes renovables. Sin embargo, una de cada siete personas aún no tiene acceso a la electricidad. Debido que la demanda sigue en aumento, es preciso un incremento considerable en la producción de energía renovable en todo el mundo. Para garantizar el acceso universal a electricidad asequible para 2030, es necesario invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y termal (Naciones Unidas, 2018).

La Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador en el año 2017 establece que para el Plan Nacional de Desarrollo Toda Una Vida en su objetivo 3 manifiesta: “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”, y en su numeral 3.5: Impulsar la economía urbana y rural, basada en el uso sostenible y agregador de valor de recursos renovables, propiciando la corresponsabilidad social y el desarrollo de la economía (SENPLADES, 2017).

“Se consideran energías renovables las obtenidas de fuentes naturales capaces de regenerarse, que, administradas en forma adecuada, pueden explotarse ilimitadamente, ya que el volumen disponible no disminuye a medida que se aprovechan” (Martínez Mendoza, 2006).

El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo manifiesta que: “Expandir la infraestructura y mejorar la tecnología para contar con energía limpia en todos los países en desarrollo, es un objetivo crucial que puede estimular el crecimiento y a la vez ayudar al medio ambiente” (PNUD, 2015).



El avance en la energía renovable es emocionante. La micro generación de energías renovables refiere a generación de energía eléctrica en pequeña escala, que se obtiene a partir del viento o del sol, estos tipos de energía son considerados como un bien común de la humanidad y por ende están disponibles para todos.

Según Gabriel Argüello. Director ejecutivo del Centro Nacional de Control de la Energía (CENACE), afirma: Hasta el año 2015, Ecuador estuvo en un equilibrio de producción tanto hidroeléctrica como térmica en 50-50 (mitad hidroeléctrica, mitad térmica). Con la puesta en funcionamiento de Coca Codo Sinclair y Sopladora empieza a generarse un cambio en la forma de producción a un 85% hidráulico y el resto térmico. Esto se refleja a partir del año 2017 hasta la actualidad. La producción energética sí cambió en beneficio del país, se desplazó una importante generación termoeléctrica del 15%.

El Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) aprobó, el 22 de octubre del 2018, una nueva regulación para viabilizar la micro generación fotovoltaica en el país, que permitirá a los usuarios finales cubrir su demanda de energía eléctrica y entregar el excedente al Sistema Nacional Interconectado (SNI). La regulación establece las condiciones técnicas, comerciales y legales para que los usuarios puedan desarrollar sus propias instalaciones de generación fotovoltaica, con una capacidad de hasta 100kW. Este sistema de generación distribuida se enmarca en la política nacional para garantizar el abastecimiento de energía eléctrica, mediante el aprovechamiento de fuentes renovables no convencionales, disminuyendo el uso de combustibles e incluyendo a nuevos actores privados como socios estratégicos (ARCONEL, 2018).

Entonces se puede concluir de manera general que el sector eléctrico se caracteriza por una creciente demanda de energía, lo cual genera nuevas oportunidades en generación eléctrica, en este ámbito la incorporación de micro generaciones a nivel mundial puede ser muy significativo.

### **Problema de investigación**

La sociedad, a medida que pasa el tiempo es más desarrollada, lo que a su vez se refleja en un consumo mayor de energía, pero, generalmente, no de manera eficiente.

En la actualidad uno de los problemas globales es la conservación de los recursos naturales y cuidado del medio ambiente. En Ecuador la energía hidroeléctrica es la fuente de energía renovable más utilizada. La generación de este tipo implica afectaciones al ecosistema natural, a las plantas y especies nativas ya que se interviene el flujo normal de circulación del agua.

La presente investigación pretende mejorar la problemática existente en la demanda energética en Ecuador y su gran dependencia de las hidroeléctricas para generar energía ya que esta puede generar efectos contraproducentes y debido al acelerado crecimiento poblacional y por ende el crecimiento de la demanda de energía no se puede depender únicamente de este tipo de generación.

Actualmente el 85% de la energía en Ecuador se produce por la fuente hidroeléctrica sin embargo en casos de sequía o fuertes descargas eléctricas en las zonas de las centrales hidroeléctricas, puede ocasionar caídas de tensión o apagones. Nuestros hogares dependen del servicio eléctrico y por ende no se soporta la idea del corte del suministro eléctrico ya que a su vez la electricidad genera comodidad, seguridad y desarrollo, por lo cual la energía fotovoltaica puede ser una manera muy provechosa de diversificar la matriz energética en el país.

### **Formulación del problema**

La Regulación 003/18 emitida por el Arconel denominada: “Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores de energía eléctrica”, según esta normativa los usuarios del servicio eléctrico podrían ahorrar hasta el 100% en sus facturas mensuales del pago del servicio eléctrico, pero, ¿Por qué no todos los usuarios pueden acceder a esta tecnología o ser beneficiados de la misma? ¿Por qué es más accesible para una familia promedio o de clase media seguir comprando la energía eléctrica a la empresa distribuidora y no poder ser un beneficiado de esta normativa?

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

Analizar la viabilidad para la incorporación de microgeneración fotovoltaica para residencias en la ciudad de Ibarra.

#### **Objetivos Específicos**

- Realizar una investigación bibliográfica sobre la incorporación de energía fotovoltaica en residencias y normativas vigentes en el Ecuador.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico para una casa tipo en base a la radiación solar de un estudio ya realizado.
- Realizar simulaciones de la producción fotovoltaica a través de un software específico.

## **Justificación**

En 2012 se creó por Decreto Ejecutivo el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables - INER, como una instancia de apoyo científico - técnico al MEER, para el desarrollo de políticas y proyectos en el campo de la eficiencia energética, siendo de mucha trascendencia su misión de generadora de prototipos para la eficiencia. Reforzando la aplicación de nuevos proyectos para la educación y el fortalecimiento de capacidades de investigación e innovación de la Eficiencia Energética.

En la actualidad el creciente interés por las nuevas fuentes de energía es muy importante, los recursos como la luz solar o el viento son elementos esenciales para abastecer e impulsar la autogeneración de energía eléctrica de una manera limpia y sustentable, para adaptar un modelo de energía distribuida (pequeñas fuentes de energía).

La política energética ecuatoriana, expresa de modo fundamental estos propósitos, pues el país trabaja para la sustentabilidad energética, considerando estos factores fundamentales y que apuntan a un desarrollo sostenible, dirigido a satisfacer las necesidades de las actuales y futuras generaciones, conservando el medio ambiente de modo eficaz, explotando de manera adecuada los recursos que posee (Vinueza, 2015).

La Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo acuerda en su objetivo número 5 del Plan Nacional de Desarrollo Toda Una Vida establece: “Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria”, donde el numeral 5.7 manifiesta que: Garantizar el suministro energético con calidad, oportunidad, continuidad y seguridad, con una matriz energética diversificada, eficiente, sostenible y soberana como eje de la transformación productiva y social (SENPLADES, 2017).

Las características de la microgeneración fotovoltaica indican que el consumidor propietario del inmueble tendrá un solo sistema fotovoltaico, mismo que estará destinado a la reducción del consumo de la red de distribución, lo que implica una reducción en la factura por servicio de energía, para ello es necesario contar con la factibilidad de conexión, y su capacidad máxima es de 100 kW, de manera transitoria se ha ampliado esta capacidad hasta 300 kW para usuarios residenciales, y 500 kW para industriales; el plazo de operación de este sistema será de 20 años (ARCONEL, 2018).

En el Ecuador, el aprovechamiento de energías renovables es de gran importancia para impulsar el desarrollo de este tipo de energías en un ámbito económico social y ambiental.

Las adaptaciones de las micro generaciones, para el autoabastecimiento residencial es de gran impacto. En este, el consumo residencial se realiza a través de la red eléctrica pública y de la autogeneración, donde, la demanda de consumo de los usuarios se verá reflejada mediante el uso de medidores bidireccionales (ARCONEL, 2018).

Este proyecto se basa en el estudio de la microgeneración fotovoltaica para viviendas o residencias, y así lograr diversificar la matriz energética, proteger el medio ambiente, promocionar el desarrollo, creando una conciencia social en cuanto al uso eficiente de la energía, con el fin de que cada ciudadano tenga la posibilidad de abastecer su demanda (total o parcial) de energía eléctrica (ITC, 2015).

# CAPÍTULO 1

## Microgeneración fotovoltaica

### 1.1 Cadena productiva de la electricidad

Para la sociedad, la electricidad es un recurso indispensable, ya que por medio de esta ha permitido mejorar la calidad de vida de las personas. La electricidad es un elemento fundamental en el progreso económico tanto en los sectores comerciales, industriales y tecnológicos.

La cadena productiva de la electricidad como se observa en la Figura 1, la cual indica los agentes que participan en el proceso de llevar la energía eléctrica hasta el usuario final, aparte de la importancia que esta cadena representa también hay que tomar en cuenta los impactos ambientales y sociales (Garcia & Gómez, 2013).

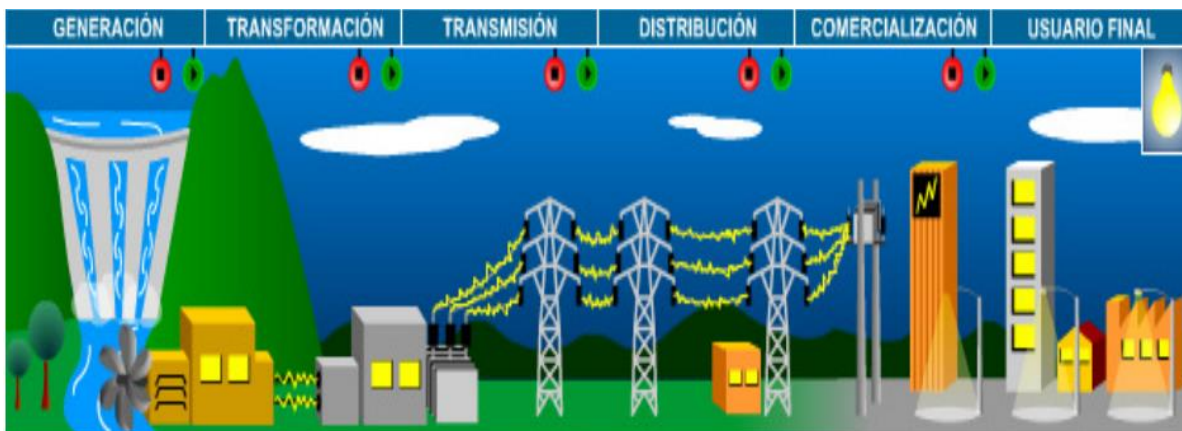


Fig. 1: Cadena productiva de electricidad  
Fuente: (OCARPIGINA, 2019)

La creciente preocupación por el estado del medio ambiente y el cambio climático, y la mayor información que tienen las comunidades exige hoy mayor rigurosidad en la licencias y trámites para construcción de proyectos de generación y transporte de electricidad. Por lo cual crece el interés de buscar alternativas de generación para reducir el impacto social y ambiental para lograr satisfacer las necesidades de la comunidad y de igual manera brindar el acceso del servicio eléctrico a los lugares que carecen de este servicio (Garcia & Gómez, 2013).

De acuerdo con los autores Romero & Flores (2019) las fuentes de energía se clasifican en:

- a) Energías renovables y
- b) Energías no renovables

Con esta finalidad, diferentes países se plantean como un objetivo en común el de satisfacer el acceso de electricidad, mejorar la eficiencia energética y sobre todo incrementar la participación de energías renovables a la matriz energética, que den solución a la creciente demanda de energía.

## **1.2 Fuentes de energías renovables**

Las energías renovables son aquellas fuentes que tienen la característica de ser limpias e inagotables o con la capacidad de regenerarse en corto tiempo, pero que a su vez tienen alta dependencia de las condiciones climatológicas.

Dentro de las energías renovables existen (Schallenberg, et al., 2008):

- a) Energía renovable contaminante
- b) Energía renovable no contaminante

La energía renovable contaminante es el tipo de energía no amigable con el medio ambiente, por lo general proviene de la materia orgánica, la cual es utilizada como biocombustible (Schallenberg, et al., 2008).

Las principales energías renovables no contaminantes o amigables con el medio ambiente son (Schallenberg, et al., 2008):

- a) Energía Hidráulica
- b) Energía Eólica
- c) Energía Geotérmica
- d) Energía Solar

### **1.2.1 Energía Hidráulica**

La energía hidráulica es la energía renovable más utilizada, su principal característica es el aprovechamiento del recurso natural del agua, la cual es procesada en una central hidroeléctrica como se observa en la Figura 2.



Fig. 2: Central hidroeléctrica coca codo sinclair  
Fuente: (BBC, 2019)

Para la generación de este tipo de energías se requiere la construcción de plantas hidroeléctricas, instalación de turbinas, por lo cual, para su generación es necesario un lugar que represente la suficiente cantidad de agua como recurso natural (Garzón, 2015).

De acuerdo con el autor Garzón (2015) las ventajas y desventajas de la energía hidráulica son:

#### Ventajas

- a) Su fuente primaria es limpia y renovable.
- b) No emite gases contaminantes.
- c) Para su generación la dependencia de agua es un recurso continuo y permanente.
- d) La fuente del recurso natural (agua), puede ser reutilizada ya que es completamente limpia.
- e) No es imprescindible conectarse a la red de un sistema eléctrico.

#### Desventajas

- a) Para la construcción de una planta hidroeléctrica requiere una inversión de dinero alta.
- b) El impacto ambiental negativo que genera, por lo que para su generación implica afectaciones al ecosistema natural, a las plantas y especies nativas ya que se interviene el flujo normal de circulación del agua.
- c) Depende en gran medida del periodo de lluvia.

### 1.2.2 Energía Eólica

Este tipo de energía se obtiene particularmente de la fuerza del viento para generar electricidad, por esta razón, a nivel mundial y sobre todo en los países más desarrollados es uno de los métodos más accesibles y productivos de obtener energía eléctrica (Figura 3) que generalmente son conocidos como parques eólicos (González, 2008).



Fig. 3: Parque eólico Villonaco  
Fuente: (CELEC EP, 2017)

El principal medio para obtener la energía del viento es por medio de aerogeneradores o molinos de viento, en las cuales sus aspas convierten la energía cinética del viento en energía mecánica. Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar. Entre el 1 y 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento (CELEC EP, 2017).

Para su generación a gran escala debe estar conectado a la red de un sistema eléctrico, de presentarse poca velocidad de viento el parque eólico debe tener un sistema de almacenamiento de energía para su operación (Garzón, 2015).

Las ventajas de energía eólica son (Garzón, 2015):

- a) Es la energía renovable más eficiente.
- b) Es una fuente de energía limpia, sustentable e inagotable.
- c) No emite gases tóxicos que afecten al medio ambiente.
- d) Es un tipo de energía autóctona y universal.

Las desventajas de la energía eólica son (Garzón, 2015):

- a) Su producción de energía no es constante ya que la velocidad del viento es muy variable.



- b) Tiene un impacto auditivo negativo, ya que sus turbinas generan ruido.
- c) Un costo de inversión alto.
- d) Las aves se ven afectadas, ya que sus aspas son muy peligrosas.

### 1.2.3 Energía Geotérmica

Es el aprovechamiento del calor interior de la Tierra para extraer del subsuelo aguas termales muy calientes, es un recurso natural del cual se obtiene la energía geotérmica la cual puede generarse en electricidad, este tipo de energía es menos conocido que las anteriores. El procesamiento se lo realiza en centrales geotérmicas como se muestra en la Figura 4, las cuales no requieren ser construidas en lugares aislados debido a que no usan combustibles fósiles para generar electricidad (Letona, 2014).



Fig. 4: Central geotérmica  
Fuente: (Twenergy, 2019)

Las ventajas y desventajas de la energía geotérmica son (Garzón, 2015):

#### Ventaja

- a) Es una fuente de energía limpia, renovable e inagotable.
- b) Es ecológica por lo que representa poca deforestación ambiental.
- c) Generar menor impacto ambiental en comparación de los combustibles fósiles.

#### Desventajas

- a) Es un tipo de energía poco rentable
- b) A diferencia de los otros tipos de energías renovables, no está disponible en cualquier parte del planeta.

c) Impacto visual negativo debido a la construcción de centrales geotérmicas.

### 1.2.4 Energía Solar

Es la energía que proviene del sol (Figura 5), esta energía puede ser canalizada de dos formas por el aprovechamiento de la luz solar que regularmente a esta tecnología se la conoce como energía solar fotovoltaica y también por el aprovechamiento del calor del sol que es conocida como energía solar térmica (Erazo Bruno, 2017).



Fig. 5: Energía solar  
Fuente: (Erenovable, 2020)

De acuerdo con el autor Ortega Hidalgo (2013) las ventajas y desventajas de aprovechamiento de la energía solar son:

#### Ventajas

- a) La energía solar es una fuente de energía inagotable, limpia, gratuita y silenciosa.
- b) No emite gases contaminantes lo cual la convierte en amigable con el medio ambiente.
- c) Puede ser instalada en casi cualquier lugar del planeta.
- d) Permite generar energía en varias escalas dependiendo de las necesidades que el usuario posea.
- e) Mediante esta se impulsa el desarrollo y creación de nuevas tecnologías.

#### Desventaja

- a) Dependencia total a condiciones climáticas
- b) Los rendimientos alcanzados aún siguen siendo bajos.
- c) Sus sistemas requieren de una gran área de instalación en relación con su poca generación.
- d) Impacto visual negativo.
- e) Inversiones muy altas con plazos de recuperación muy largos.

### 1.3 Energía solar fotovoltaica

Este tipo de energía se produce mediante el principio del efecto fotoeléctrico o fotovoltaico, es decir, la transformación de la radiación solar a energía eléctrica (Figura 6). Este proceso se da al incidir la radiación solar sobre una célula fotovoltaica (paneles solares) este efecto produce un campo eléctrico que produce la corriente eléctrica continua CC (Erazo Bruno, 2017).

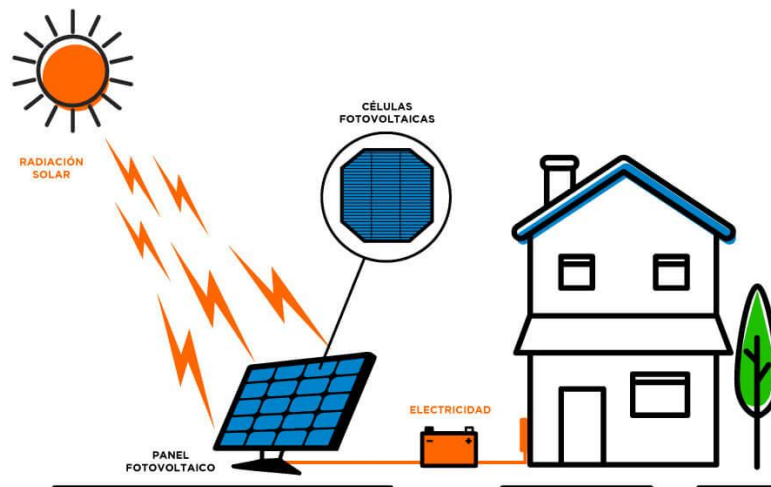


Fig. 6: Sistema Fotovoltaico  
Fuente: (Alquimodul, 2017)

Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en dos grupos, estos dependen de si están o no conectados a la red eléctrica (Abella, 2014).

- a) Sistemas fotovoltaicos autónomos: Son aquellos que están asilados de la red eléctrica
- b) Sistemas fotovoltaicos conectados a red: Son aquellos que están conectados directamente a la red eléctrica

#### 1.3.1 Radiación Solar

La radiación solar es la transferencia de energía mediante ondas electromagnéticas, producida en todas las direcciones directamente desde la fuente. Las ondas provenientes del

sol, como de las estrellas, son capaces de traspasar la atmosfera y así llegar a la superficie terrestre, dichas ondas poseen una longitud que está representada por  $\lambda_0$  y una frecuencia (Ecuación 1) (Mantilla & Toro , 2017).

$$\lambda_0 * v = c \quad (1)$$

Dónde:

c: es la velocidad de la luz

$\lambda_0$ : longitud

v: frecuencia

### 1.3.2 Tipos de radiación solar

Existen diferentes tipos de radiación solar, los cuales van en función de cómo reciben los rayos solares los equipos que están instalados en la superficie terrestre:

- a) **Radiación Directa:** Mantilla & Toro (2017) afirman: “Esta radiación se caracteriza porque cae directamente del sol, sin desviaciones en su trayectoria al cruzar por la atmósfera” (p.4).
- b) **Radiación Difusa:** Esta radiación se la denomina difusa porque va en todas las direcciones, esto se debe a que la radiación solar al pasar por la atmósfera terrestre sufre un cambio de dirección al llegar a la superficie de la tierra, la dirección que toman los rayos solares es producido por el choque directo de ciertas moléculas y partículas presentes en el aire, por lo tanto los rayos solares tienen un desvío razón por la cual no se la considera una radiación directa (Mantilla & Toro , 2017).
- c) **Radiación Reflejada:** Esta radiación es la que proviene por el efecto que producen los rayos reflejados por objetos de la tierra como lagos, suelo, paredes, etc. (Damacela & Guamangate, 2018).
- d) **Radiación Total:** También conocida como radiación global es aquella obtenida, mediante los otros tipos de radiación o la suma de las tres. Los distintos tipos de radiación se muestran en la Figura 7.

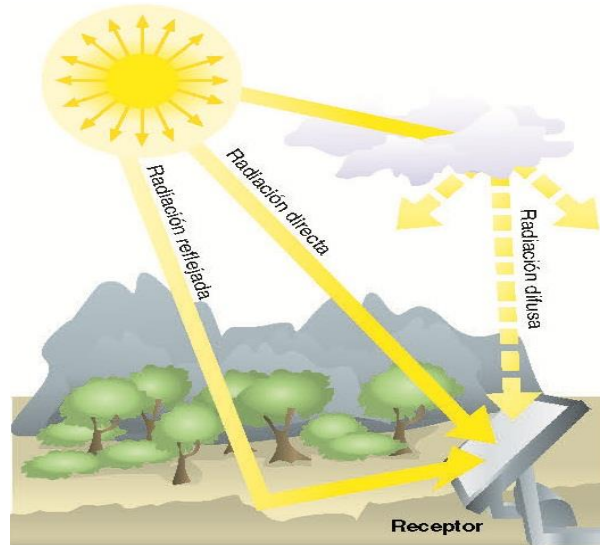


Fig. 7: Tipos de Radiación  
Fuente: (Chint Power System, 2019)

### 1.3.3 Irradiancia

Es la potencia o radiación solar incidente recibida por unidad de superficie, es decir indica la intensidad de la radiación solar, su unidad de medida según el Sistema Internacional (SI) es  $\text{kW/m}^2$ . Mediante esta unidad de energía se puede calcular la cantidad de energía eléctrica que genera un panel fotovoltaico tomando en cuenta su potencia. Teniendo el valor de irradiancia se podrá estimar el lugar indicado donde se puede instalar un sistema fotovoltaico (Alvarez & Vaca, 2014).

### 1.3.4 Irradiación

Según el Sistema Internacional de medidas la irradiación tiene como unidad  $\text{kWh/m}^2$ , y se la puede representar con la letra (H). El valor de irradiación se puede obtener al integrar la irradiancia en un determinado tiempo, y se la puede definir como la potencia incidente por unidad de superficie en un determinado tiempo (Damacela & Guamangate, 2018).

### 1.3.5 Horas solar pico (HSP)

Las horas solar pico están relacionadas con la radiación solar y a su vez tienen mucha importancia para calcular la producción de un sistema fotovoltaico. Cárdenas Calle, (2019) afirman: “Es energía recibida en un número de horas equivalentes con una irradiancia promedio de  $1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  durante el día” (p. 45). En la Figura 8 se muestra la curva típica del comportamiento de las horas pico de generación solar, es decir, “se puede determinar el número de horas en que

los paneles solares generan la potencia máxima especificada por el fabricante” (Alvarez & Vaca, 2014).

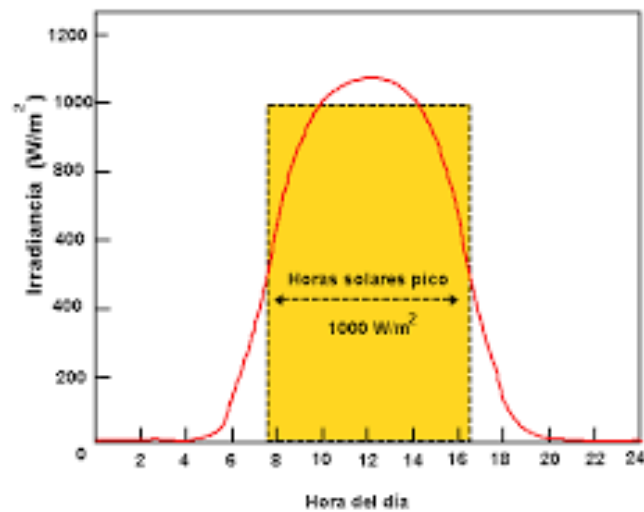


Fig. 8: Horas Solar Pico  
Fuente: (Rodas & Arévalo, 2016)

### 1.3.6 Características de una instalación fotovoltaica

A pesar de que todas las instalaciones fotovoltaicas tienen el mismo principio de generación y sus componentes son pocos, cada instalación depende de algunas características propias como pueden ser (Damacela & Guamangate, 2018):

- a) Zona geográfica
- b) Lugar de implementación e instalación
- c) Potencia necesaria
- d) Corriente (CA, CC)
- e) Instalación aislada o conectada a la red
- f) Presupuesto
- g) Características de los materiales
- h) Garantías
- i) Principios y detalles de funcionamiento e instalación
- j) Regulaciones y leyes

El presupuesto debe estar bien detallado para una mejor interpretación del cliente y evitar malos entendimientos o problemas por el desconocimiento de esta tecnología.

### 1.3.7 Clasificación de las instalaciones fotovoltaicas

Independientemente de su tamaño de potencia y aplicación de acuerdo con el autor Neira Campoverde (2012) se pueden clasificar en:

a) En función de su potencia.

Pequeñas instalaciones	entre 1 – 5 kW
Medianas instalaciones	entre 5 – 100 kW
Grandes instalaciones	entre 100 kW – 1 MW
Centrales fotovoltaicas	entre 1 – 50 MW

b) De acuerdo con su aplicación.

Sistema fotovoltaico autónomo o aislado

Sistema fotovoltaico conectado a la red

### 1.3.8 Sistema fotovoltaico autónomo o aislado

El sistema fotovoltaico autónomo o aislado debe asegurar el suministro eléctrico durante todo el día incluso en los periodos de baja radiación solar, por lo tanto, es necesario que este sistema tenga implementado un banco de baterías, inversor y equipos de control de carga. Hay que dimensionar correctamente el sistema aislado ya que esta instalación debe estar orientada a cubrir el 100% de la necesidad eléctrica (Cárdenas Calle, 2019). El esquema de esta conexión se muestra en la Figura 9.

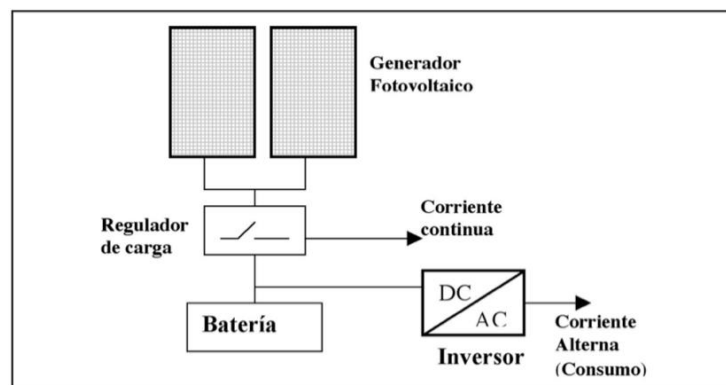


Fig. 9: Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo  
Fuente: (Cárdenas Calle, 2019)

### 1.3.9 Sistema fotovoltaico conectado a la red

Por su parte, el sistema conectado a la red es más fiable ya que permite a las personas y empresas pasar a tener dos fuentes de energía: la fotovoltaica y la red eléctrica. Este tipo de conexión se inyecta a la red eléctrica a través de un inversor, el uso de baterías es opcional (Cárdenas Calle, 2019). El esquema de esta conexión se muestra en la Figura 10. En Ecuador, el uso de este sistema de generación fotovoltaica está permitido por el ARCONEL.

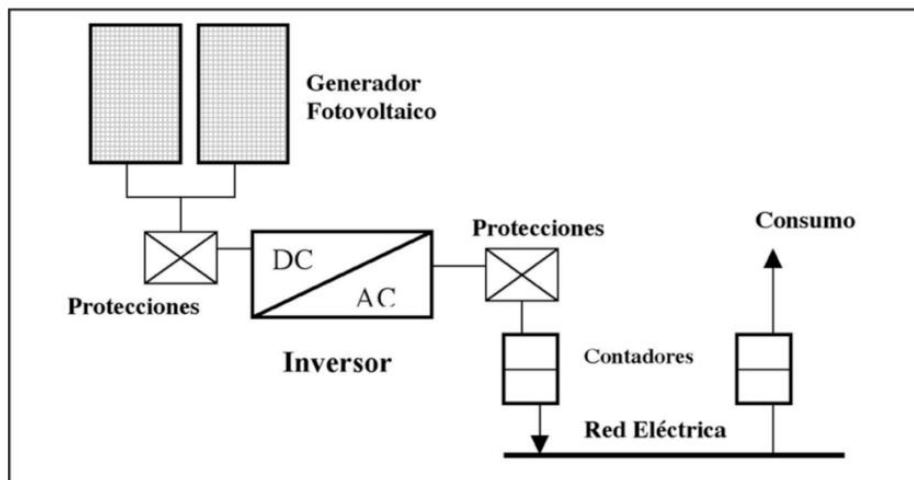


Fig. 10: Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red  
Fuente: (Cárdenas Calle, 2019)

### 1.3.10 Componentes de un sistema fotovoltaico

- a) **Panel solar:** Es una placa compuesta por pequeñas celdas fotovoltaicas, (Figura 11), que absorben la energía del sol y la convierten en energía eléctrica



Fig. 11: Panel solar 175W  
Fuente: (Proviento, 2019)



- b) **Batería:** Es el dispositivo encargado del almacenamiento de la energía producida por los paneles solares (Figura 12), es esencial para un sistema autónomo o aislado ya que su funcionamiento normal es en la noche o los días nublados (Barón Ortiz, 2015)



Fig. 12: Batería 20Ah/12VDC  
Fuente: (Proviento, 2019)

- c) **Regulador de carga:** El regulador de carga es un dispositivo electrónico encargado de monitorear el flujo de corriente de carga que proviene de los paneles fotovoltaicos hacia la batería (Rodas & Arévalo, 2016). Cuando la batería este a plena carga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde los paneles con el fin de alargar la vida útil de las mismas. La Figura 13 muestra la conexión del regulador de carga y su funcionamiento. Su uso solo en es sistemas autónomos (Alvarez & Vaca, 2014).



Fig. 13: Regulador de carga solar  
Fuente: (Sol Energy, 2019)

- d) **Inversor:** Es el dispositivo electrónico o componente más importante de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Establece el punto de operación máximo de corriente permitido del conjunto de módulos y optimiza el paso de energía entre el panel y la

carga (Parrales, Vallejo & Montealegre, 2015). Es decir, tiene como objeto de transformar la energía producida por los paneles solares de corriente continua en corriente alterna para sincronizarse con la red eléctrica, de esta manera los electrodomésticos pueden funcionar de forma normal. La Figura 14 muestra un inversor solar.



Fig. 14: Inversor Fronius SYMO 10.0-1 A 15.01  
Fuente: (Sol Energy, 2019)

- e) **Protecciones:** Los sistemas fotovoltaicos para su funcionamiento deben de tener los elementos de protección más comunes en las instalaciones eléctricas como: corto circuito, sobre voltaje y corriente, desconexión automática para casos de variación de los parámetros de red, etc. (Figura 15). Estos sistemas de protección deben estar sujetos a las normativas de construcción de cada país (Parrales, Vallejo & Montealegre, 2015).

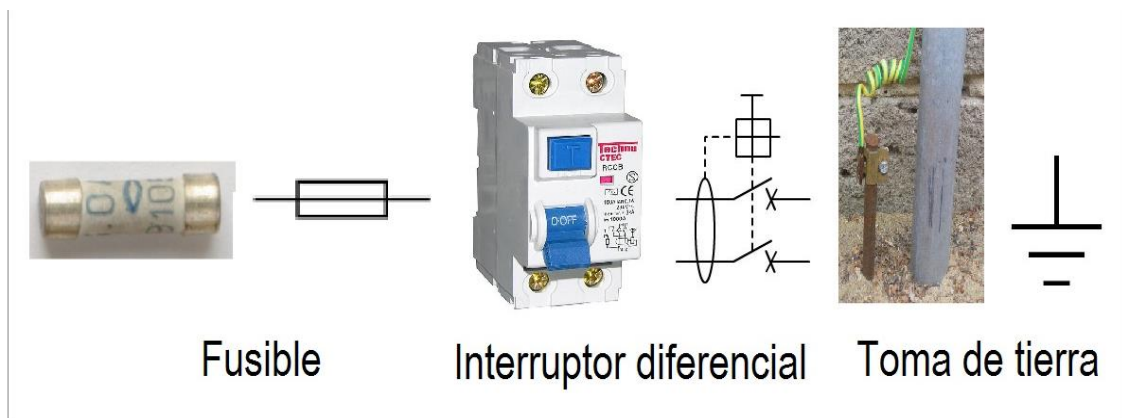


Fig.15: Elementos de protección eléctrica  
Fuente: (Galicia, 2014)

- f) **Sistema de montaje:** El sistema de herraje o la estructura está diseñado para el montaje de los paneles solares desde grandes instalaciones hasta pequeñas instalaciones donde los espacios son limitados. Su material por lo general es 100% aluminio resistente a la oxidación (Guamán Sanchez, 2017). Su diseño es sencillo y fácil de manipular ya sea en techo o en lugar que desee instalar el sistema fotovoltaico como se muestra en la Figura 16.



Fig. 16: Sistema de montaje de paneles solares  
Fuente: (Sol Energy, 2019)

- g) **Contador de energía bidireccional:** En instalaciones conectadas a la red su uso es importante (Figura 17). Se trata de un contador digital o medidor que registra la energía eléctrica en un periodo de tiempo. Erazo Bruno, (2017) afirma: “Es un medidor que contabiliza la energía que se produce y la que se consume en la instalación para luego saber cuánto se debe pagar o recibir por la venta a la red pública”. El medidor bidireccional es la mejor opción para usuarios que tienen instalado energía fotovoltaica como fuente de electricidad, pues ayuda a conocer el ahorro económico mensual de la planilla de luz (Romero & Flores, 2019).



Fig. 17: Medidor de energía bidireccional  
Fuente: (Erazo Bruno, 2017)

**h) Cableado:** El calibre de los conductores debe estar sujetos a los diferentes requerimientos eléctricos. Los cables de los paneles fotovoltaicos deben cumplir con las normas del código eléctrico de cada región. Las conexiones eléctricas se ubican en la parte posterior del módulo, y son accesibles para el usuario o instalador (Parrales et al., 2015).

### 1.3.11 Pérdidas en sistemas fotovoltaicos

Como otros procesos de generación de potencia eléctrica, las pérdidas son un factor determinante en las instalaciones fotovoltaicas. Pues se pensaría que la energía producida por una instalación fotovoltaica es directamente proporcional a la irradiación incidente en el módulo generador fotovoltaico (González Martínez, 2016). La Tabla 1.1 muestra las pérdidas más comunes en los sistemas fotovoltaicos.

TABLA 1. 1  
PÉRDIDAS EN LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

<b>Pérdidas en los sistemas fotovoltaicos</b>	
Pérdidas por temperatura	4 – 5 %
Pérdidas por sombra	3 %
Pérdidas por polvo y suciedad	4 %
Pérdidas óhmicas (cableado)	3 %
Pérdidas por rendimiento del inversor	2%
Pérdidas angulares	1 – 7 %

Fuente: (González Martínez, 2016)

## 1.4 Microgeneración

En la actualidad, la sociedad vive una época de cambio para lo cual el consumo eléctrico se sustenta gracias a fuentes de recursos renovables, de una manera limpia, sostenible y eficiente. El sol, el viento o el agua son algunos de los elementos que se pueden utilizar para abastecer la necesidad energética, y aunque los modelos existentes son nuevos, poco a poco es más habitual ver sistemas que facilitan la autogeneración, distribución y consumo (Yablonovsky, 2020).

La microgeneración de energías renovables refiere a generación de energía eléctrica en pequeña escala, que se obtiene a partir del viento o del sol. Generalmente se utiliza para facilitar el servicio eléctrico ya sea domiciliario o rural como se observa en la Figura 18.



Fig. 18; Autogeneración doméstica  
Fuente: (Conciencia Eco, 2010).

Con el avance de la tecnología y de la concientización ciudadana sobre las ventajas que brindan las energías renovables, se está incrementando la oferta de equipamiento que permite producir pequeñas cantidades de energía en el mismo lugar que se consume (Torino, 2017).

Para plantear el diseño e instalación de un sistema de microgeneración en un domicilio, se deben hacer algunos cálculos de demanda promedio y de disponibilidad de viento y energía solar en el lugar. A este proceso se le llama: cálculo de balance energético (Pertini & Denegri, 2014).

#### **1.4.1 Características de la microgeneración**

La microgeneración se caracteriza por (Damacela & Guamangate, 2018):

- a) La energía eléctrica producida es principalmente para uso propio del usuario.
- b) Debe existir el uso de tecnologías renovables.
- c) La capacidad de generación se debe dimensionar en relación con satisfacer la totalidad o parte del consumo eléctrico del cliente o empresa.
- d) El sistema microgenerador debe ser instalado en la propiedad del cliente.

#### **1.4.2 Ventajas de la microgeneración**

Las ventajas de la microgeneración son (Damacela & Guamangate, 2018):

- a) Las personas que invierten en sistemas de microgeneración ayudan a disminuir el impacto ambiental.
- b) Diversificar la matriz energética.

- c) Contribuir con el ahorro del combustible fósil.
- d) Energía híbrida mucho más eficiente

### **1.4.3 Desventajas de la microgeneración**

Las desventajas de la microgeneración son (Damacela & Guamangate, 2018):

- a) Limitación en generar a gran escala la electricidad en el lugar de instalación.
- b) El impacto visual es negativo ya que por las tecnologías usadas para las instalaciones de microgeneración causan molestias (paneles solares, turbinas eólicas, microturbinas de agua entre otras).
- c) El costo de instalación es relativamente alto.

## **1.5 Energía Renovable en Ecuador**

Es de gran importancia para el país impulsar el uso y desarrollo de energías renovables como alternativas para un desarrollo económico, social y ambiental. El aprovechamiento de esta tecnología trae consigo diferentes ventajas y aplicaciones favorables para la sociedad, las cuales son muy importantes en su contribución con la investigación, innovación y desarrollo sostenible (Mora Trujillo, 2017).

Por ser un país petrolero se tiene la opción de incrementar la generación térmica en base a combustibles fósiles, sin embargo, el gobierno ecuatoriano durante la última época apoya principalmente a la generación de energía por medio del uso de fuentes de generación renovables, esto se debe a que el país es privilegiado porque tiene a favor un gran potencial de recursos renovables, y lo ideal es el aprovechamiento de estos recursos (Neira & Velecela, 2014).

De esta manera, para nuestro país Ecuador es importante considerar el uso de nuevas fuentes de energías primarias que sean menos contaminantes con el medio ambiente. En este ámbito la energía solar fotovoltaica ha tenido en los últimos años el mayor crecimiento entre las energías renovables (Muñoz Vizhñay, Rojas Moncayo, & Barreto Calle, 2018).

## **1.6 Generación Fotovoltaica en Ecuador**

El Ecuador a través del ex Consejo Nacional de Electricidad – CONELEC desarrolló el Atlas solar con fines de generación eléctrica. La Figura 19 representan la energía solar global promedio de los valores diarios de insolación total (directa y difusa), expresados en Wh/m<sup>2</sup>/día. En esta figura puede observarse las zonas con mayor insolación en el país y, por tanto, con mayor potencial para generación fotovoltaica como el caso de las provincias de Loja, Imbabura y Carchi (Muñoz et al., 2018).

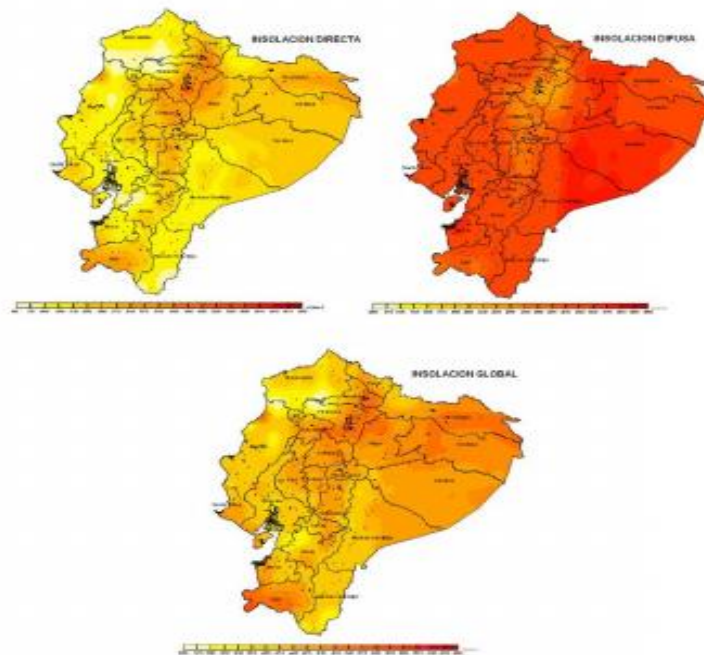


Fig. 19: Mapa solar del Ecuador con fines de generación eléctrica  
Fuente: (CONELEC, 2008)

A pesar de disponer el Ecuador de un alto potencial energético, el desarrollo de la energía solar fotovoltaica es aún incipiente, de manera particular en microgeneración distribuida; para septiembre de 2017, el ARCONEL informa que la capacidad efectiva en este tipo de energía fue de 25,6 MW lo que representó el 0,34 % de la capacidad total del país, habiendo producido 35,3 GWh/año equivalente al 0,15 % de la producción total de energía (Muñoz et al., 2018).

#### 1.6.1 Impactos de la energía solar fotovoltaica en la zona 1 de Ecuador

El gobierno ecuatoriano de acuerdo con su plan maestro de electrificación para expandir la matriz energética del país ha impulsado proyectos que se involucren con sistemas fotovoltaicos.

Dentro de la zona 1 de Ecuador, se han puesto en marcha tres proyectos fotovoltaicos que están ubicados en la provincia de Imbabura, cuyo principio general es aprovechar la energía solar y transformarla en electricidad, estos proyectos son: planta fotovoltaica Paragachi con una capacidad de 998 Kilowatts, planta fotovoltaica Salinas con capacidad de 2 Megawatts y la planta fotovoltaica Tren Salinas con capacidad de 999 kilowatts de electricidad, la vida útil de estas centrales se estiman para 25 años (Roldan, 2013).

## **Impacto ambiental**

En comparación con las energías no renovables, su impacto ambiental es mínimo por lo cual se puede decir que esta principal ventaja de la energía solar.

El uso de las energías no renovables se genera en base de combustión, lo que a su vez provocan residuos de gases o sustancias tóxicas que son dañinas con el medio ambiente en comparación con las energías renovables, estas no generan estas emisiones por lo cual es uno de sus factores más importantes. Roldan (2013) afirma: “La energía solar al no generar emisiones, no causa calentamiento global, y es considerada una energía limpia” (p.45).

Una desventaja de este tipo de energía es el almacenamiento por lo que se necesita hacer usos de baterías pues los componentes por su fabricación son dañinos con el medio ambiente, sin embargo, para las centrales fotovoltaicas instaladas en la zona 1 de Ecuador estas no cuentan con estas baterías de acumulación de energía (Roldan, 2013).

Hay que considerar el uso del suelo para la implementación de estas plantas fotovoltaicas ya que existe un daño geográfico. Roldan (2013) afirma: “Una planta fotovoltaica dependiendo de la tecnología ocupa entre 3,4 a 10 hectáreas por MWp” (p.47). Por lo cual hay que tomar en cuenta el uso geográfico, sin embargo, las plantas fotovoltaicas instaladas en la provincia de Imbabura son tierras no fértiles lo cual representa una ventaja ya que en el lugar no existe mayor vegetación.

## **Impacto Social**

El aprovechamiento de la energía solar en la zona 1 es factible de acuerdo con el mapa solar del Atlas Solar, principalmente se ve una gran ventaja en la provincia de Imbabura donde ya están en funcionamiento tres plantas fotovoltaicas.

La planta fotovoltaica Paragachi ubicada en el cantón San Pedro de Pimampiro con una inversión de 2'200.000 dólares financiados por el Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (BIESS) y prevé un ahorro de 2.5 millones de dólares diarios en importación de combustibles y energía (Mora Trujillo, 2017).

Los beneficios para la zona son numerosos ya que los aparatos eléctricos pueden ser conectados a la energía producida por la energía solar. En este contexto la zona urbana es la más beneficiada. En el cantón San Pedro de Pimampiro los mayores beneficiarios son cerca de 2000 familias que viven en el sector (Velasco, 2009).



## **Impacto Económico**

El impacto más importante de estos proyectos para el desarrollo del Ecuador es sin duda el económico, ya que estos proyectos no solo benefician económicamente a un país, sino que atrae efectos positivos dentro de la sociedad (Roldan, 2013).

Para las plantas fotovoltaicas instaladas en la provincia de Imbabura, inicialmente trae consigo empleo durante la preparación y construcción, ya en la actualidad la fase de operación genera empleos estables durante los años de vida útil del proyecto.

## **1.7 Marco Regulatorio Ecuatoriano**

### **1.7.1 LOSPEE**

En el Estado ecuatoriano, el 16 de enero del 2015 entró en vigencia la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE), en unos de sus artículos manifiesta que se debe “Desarrollar mecanismos de promoción por parte del Estado, que incentiven el aprovechamiento técnico y económico de recursos energéticos, con énfasis en las fuentes renovables”

### **1.7.2 SENPLADES**

La Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo acuerda en su objetivo número 5 del Plan Nacional de Desarrollo Toda Una Vida establece: “Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria”, donde el numeral 5.7 manifiesta: “Garantizar el suministro energético con calidad, oportunidad, continuidad y seguridad, con una matriz energética diversificada, eficiente, sostenible y soberana como eje de la transformación productiva y social (SENPLADES, 2017).

### **1.7.3 ARCONEL**

El ente regulador del sector eléctrico es la Agencia de Regulación y Control del Energía (ARCONEL). Para el caso de la generación fotovoltaica se considera la regulación ARCONEL 003/18 denominada: “Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores de energía eléctrica”, en la que se establece las condiciones para el desarrollo, implementación y participación de consumidores que cuenten con sistemas de microgeneración fotovoltaica. Según la normativa los usuarios del servicio eléctrico podrían ahorrar hasta el 100% en sus facturas mensuales del pago del servicio eléctrico (ARCONEL, 2018). El proyecto debe ser conectado en redes bajo y/o medio voltaje de la empresa distribuidora (Figura 20). La capacidad nominal instalada del micro sistema fotovoltaico ( $\mu$ SFV) no podrá ser mayor a 100 KW.

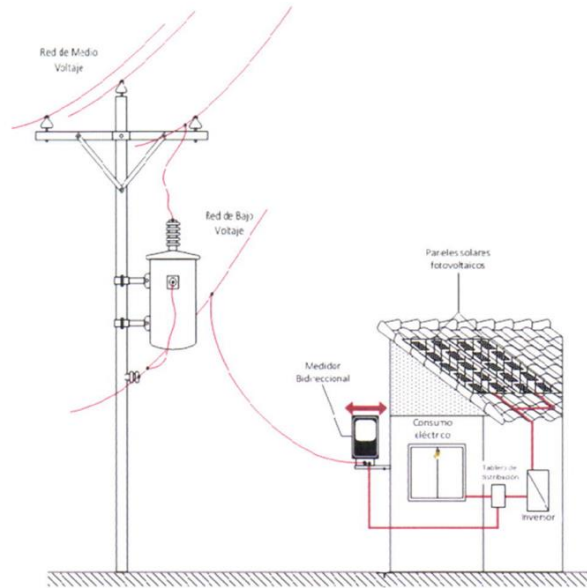


Fig. 20: Esquema de instalación del  $\mu$ SFV  
Fuente: (ARCONEL, 2018)

Dentro de la categoría general se considera a los consumidores (ARCONEL, 2018):

- a) Locales y establecimientos comerciales públicos o privados.
- b) Locales públicos o privados destinados a la elaboración o transformación de productos por medio de cualquier proceso industrial y sus oficinas administrativas.
- c) Instalaciones de Bombeo de Agua.
- d) Entidades de Asistencia Social.
- e) Entidades de Beneficio Público.
- f) Entidades Oficiales.
- g) Escenarios Deportivos.
- h) Culto Religioso.
- i) Servicio Comunitario.
- j) Y los demás que no estén considerados en la Categoría Residencial.

Para la instalación de sistemas microfotovoltaicos, ARCONEL (2018) establece los siguientes requerimientos técnicos:

- a) Diagrama unifilar de la instalación.
- b) Especificaciones generales del equipamiento.
- c) Esquema de conexión a la red de distribución de medio o bajo voltaje.
- d) Modo de conexión.
- e) Estudio del sistema de protecciones y equipo de seccionamiento.

- f) Aspectos técnicos complementarios respecto a las protecciones, a fin
- g) de cumplir con los estándares y requerimiento de la empresa de
- h) distribución.
- i) Número y potencia de los paneles fotovoltaicos.
- j) Potencia total instalada del sistema fotovoltaico.
- k) Estimación de la producción energética mensual y anual del proyecto.
- l) Características de los inversores.
- m) Potencia de cortocircuito.
- n) Las características del punto de entrega y medición.

En lo que se refiere a la parte comercial de la energía producida por el usuario, será destinada únicamente al autoconsumo de la edificación y/o de la vivienda. En caso de existir excedentes de energía, estos serán entregados a la red de baja y/o media tensión de la empresa distribuidora, la cual, optara por el mecanismo de balance mensual neto (Figura 21), es decir, la empresa de distribución para su respectiva facturación al consumidor debe considerar el registro de los flujos de energía inyecta a la red y consumida de la misma en el equipo de medición (ARCONEL, 2018).

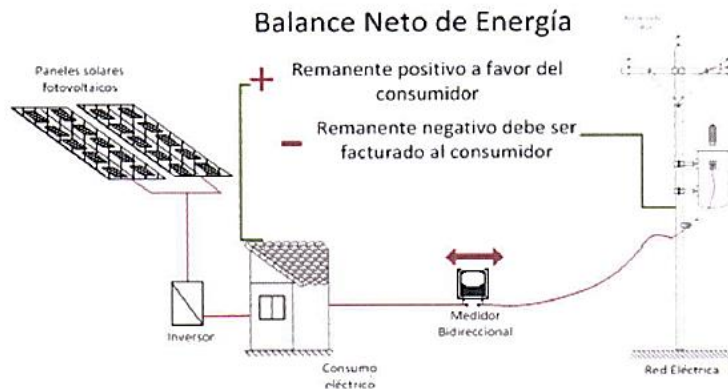


Fig. 21: Balance Neto de Energía  
Fuente: (ARCONEL, 2018)

Es importante resaltar que el Estado ecuatoriano promueve e incentiva a poner en práctica estas tecnologías renovables. La Ley del Régimen del Sector Eléctrico en su artículo 67 manifiesta que se "exonerará el pago de aranceles, impuestos adicionales y gravámenes que afecten a la importación de materiales y equipos no producidos en el país, para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras" (Guamán Sanchez, 2017).

## **CAPÍTULO 2**

### **Fundamentación para el diseño del sistema fotovoltaico**

#### **2.1 Introducción**

La energía solar fotovoltaica se encuentra en un constante crecimiento en el desarrollo tecnológico, desde su descubrimiento en el año 1838 por el francés Alexandre Edmond Becquerel, quien realizó un experimento con una pila electrolítica, la cual al estar expuesta al sol aumentaba su corriente; desde aquel acontecimiento hasta la actualidad muchas investigaciones han sido impulsadas, esto se debe principalmente con el objetivo de independizar la matriz energética y disminuir la contaminación ambiental por el uso de fuentes no renovables.

La presente investigación de grado está relacionada con el creciente interés de la integración de fuentes de energías renovables para formar microrredes, las cuales deben ser estudiadas y analizadas por medio de herramientas especializadas que faciliten realizar estudios de operación, técnicos y económicos.

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico en una casa tipo se presenta el estudio de una microrred, para lo cual el uso del software HOMER Energy Pro es una herramienta utilizada para el diseño y el análisis de desempeño, en este caso se debe determinar el recurso solar disponible basado en las condiciones climáticas locales (base de datos) y la carga o consumo de energía.

#### **2.2 Metodología de la investigación**

El análisis de viabilidad de la incorporación de microgeneración fotovoltaica para residencias en la ciudad de Ibarra, tiene como objeto realizar un estudio basado en la nueva regulación de microgeneración fotovoltaica 003/18 aprobada por el ARCONEL en octubre del 2018, de esta manera los domicilios pasan a tener dos fuentes de energía: la fotovoltaica y la de la red eléctrica, con esto se podría ahorrar hasta el 100% de la factura de la luz. En la Figura 22 se presenta el diagrama de flujo de la metodología a emplearse.

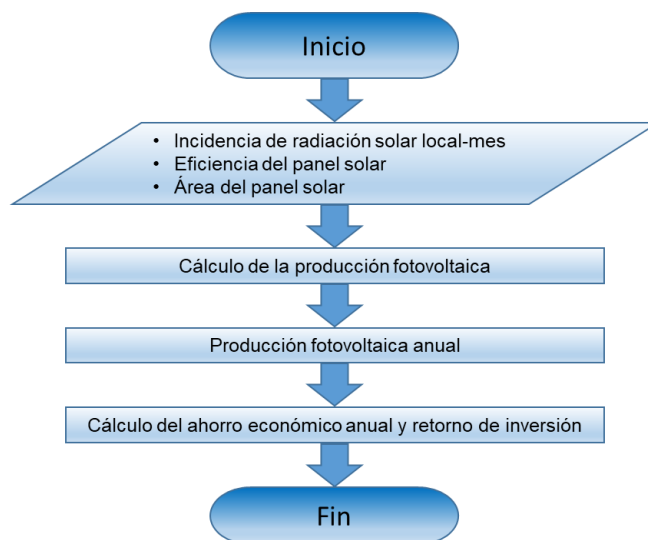


Fig. 22: Diagrama de flujo de la metodología empleada  
Fuente: Propia

### 2.3. Ubicación geográfica del tema de estudio

Ibarra es la capital de la provincia de Imbabura, con una altitud de 2.225 m.s.n.m. Posee un clima seco templado y agradable, y una temperatura promedio de 18°C, la Figura 23 representa el mapa geográfico de la ciudad de Ibarra.

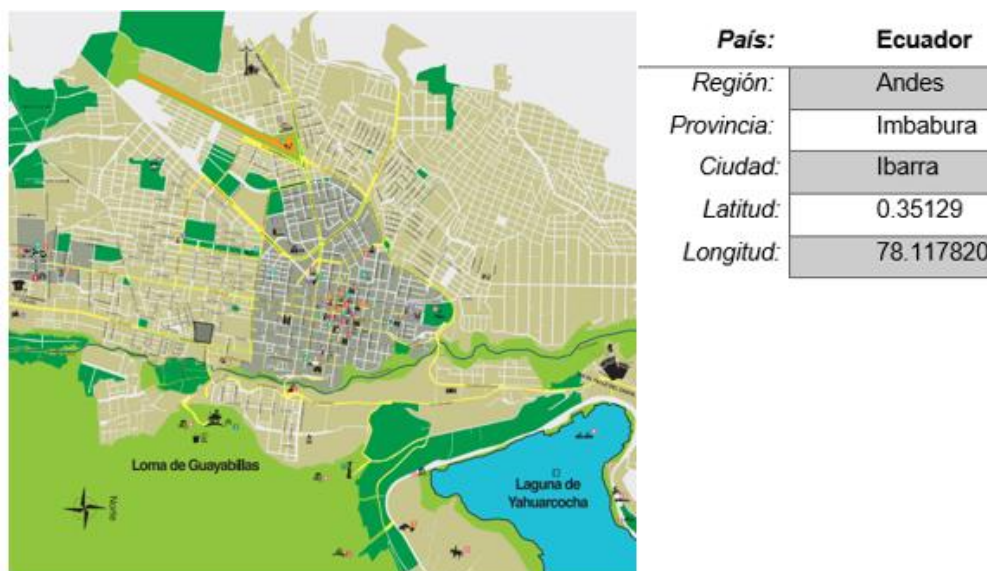


Fig. 23: Mapa geográfico de la ciudad de Ibarra  
Fuente. (IBARRA ES TURISMO, 2018)

## 2.4 Desarrollo del proyecto

Para la presente investigación la Figura 24, muestra una descripción de los parámetros que se tienen en cuenta para el presente estudio técnico del dimensionamiento del microsistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica, empezando por determinar la demanda de energía en una casa tipo y realizar un análisis de irradiación solar presente en la zona y finalmente determinar la capacidad y modelos de paneles solares e inversor. Cabe recalcar que también se realizará pruebas o simulaciones en el programa HOMER Pro.

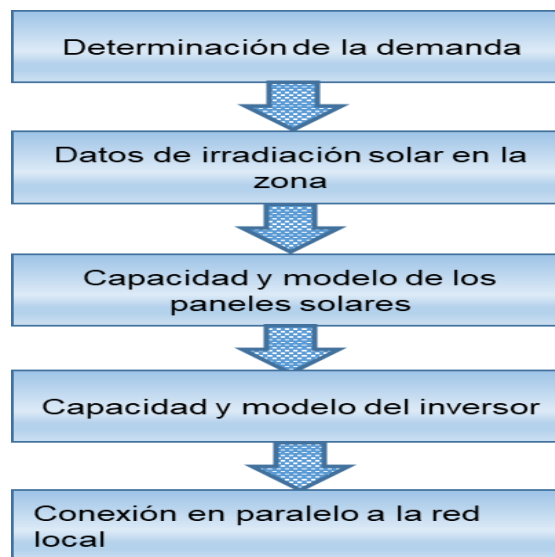


Fig. 24: Desarrollo del tema de estudio  
Fuente: Propia

## 2.5 Metodología de cálculo para el dimensionamiento de un sistema microfotovoltaico conectado a la red

Para la estimación del sistema microfotovoltaico es necesario tener en cuenta el consumo eléctrico mensual generado por un usuario, además, se requiere conocer los datos de radiación solar producida en la zona de estudio para analizar la viabilidad del proyecto. Por otro lado, para el efectuar el diseño de una instalación fotovoltaica conectada a red de distribución eléctrica local no es necesario el uso de baterías para lo cual hay que proceder a realizar los siguientes cálculos básicos en función de los siguientes requerimientos:

### 2.5.1 Cálculo del consumo de energía eléctrica (demanda)

Es la energía eléctrica consumida o producida durante una unidad de tiempo, es decir, es la base del cálculo de las facturas eléctricas domésticas. El consumo se factura como (kW-h).

El consumo eléctrico corresponde al producto de la potencia en (watts) por el tiempo (horas), se calcula mediante la Ecuación (2) (López Barboza, 2019).

$$E = P * t \quad (2)$$

Donde,

E: Energía

P: Potencia (W)

t: Tiempo (h)

De manera general, para modelar una demanda energética se la realiza en base a la demanda diaria promedio. Con las potencias de cada equipo eléctrico y el tiempo de uso en horas, como se muestra en la Tabla 2.1.

TABLA 2. 1 DEMANDA DIARIA				
Equipo	Nº	Potencia (watts)	Horas (horas)	Energía
Equipo 1				$n * pot * h$
Equipo 2				$n * pot * h$
Equipo n				$n * pot * h$
<b>Demanda diaria</b>				$\sum n * P * t$

Fuente: (López Barboza, 2019)

Entre los equipos o artefactos eléctricos más comunes en un hogar con su respectiva potencia se tiene los siguientes:

TABLA 2. 2 POTENCIA DE EQUIPOS ELÉCTRICOS		
Equipo eléctrico		Potencia en vatios
Refrigerador		250 – 350 W
Televisor		150 – 400 W
Plancha		900 – 2000 W
Microondas		900 – 1500 W
Licuadora		230 – 350 W
Minicomponente		100 – 450 W
Computadora (laptop & escritorio)		15 – 1000 W
Lavadora de ropa		400 – 2000 W
Calefacción		1000 – 2500 W
Luminarias	(fluorescente, LED, incandescente)	7 – 100 W

Fuente: (Erazo Bruno, 2017)

Entonces, ya sabiendo las potencias de los equipos eléctricos es necesario saber el tiempo de estimado de uso al día para poder calcular la demanda diaria.

## 2.5.2 Estudio de radiación solar en la ciudad de Ibarra

Para analizar el recurso solar en la zona se recolectará información de distintas fuentes encargadas a realizar estudios de radiación solar, como lo son:

- Atlas solar del Ecuador (CONELEC)
- La Nasa
- Plataforma tecnológica SOLARGIS

Estas herramientas on-line brindan ayuda para futuros proyectos tecnológicos relacionados con energías renovables. Según estas fuentes la ciudad de Ibarra presenta un recurso solar elevado que se analizara más adelante.

### a) Datos de radiación solar del Atlas Solar del Ecuador

El estudio de radiación solar proporcionado por el CONELEC a través del “Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica” muestra que la radiación solar promedio que incide sobre el territorio ecuatoriano es de 4.57 kWh/m<sup>2</sup> /día, como se observa en la Figura 25, en la cual también se observa las regiones o zonas con mayor incidencia de radiación solar en el Ecuador.

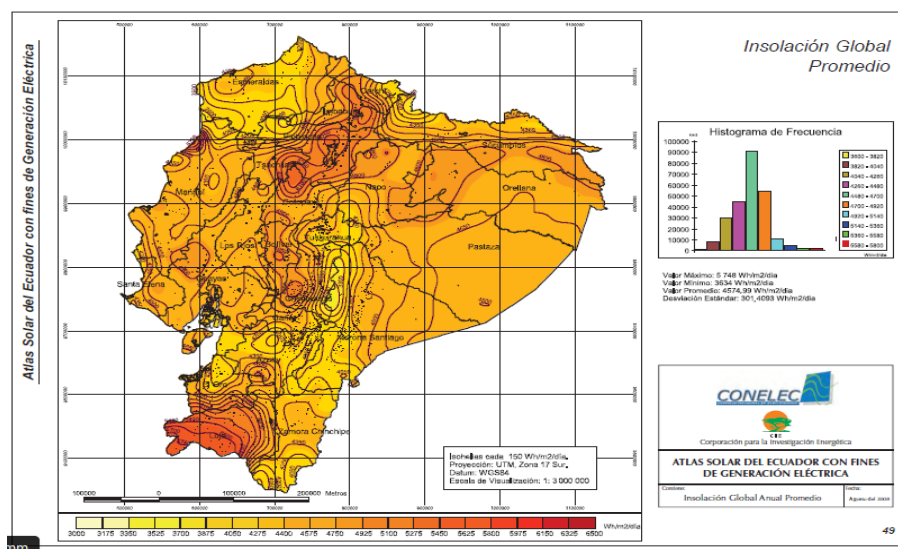


Fig. 25: Mapa Atlas Solar del Ecuador  
Fuente: (CONELEC, 2008)



De la Figura 25, se deduce que la ciudad de Ibarra está ubicada en una zona con un gran potencial solar disponible, por la tanto, la radiación solar es de 4.295 kWh/m<sup>2</sup>/día como se observa en la Figura 26.



Fig. 26: Irradiación solar en Ibarra  
Fuente: (Atlas Solar Global, 2019)

## b) Datos de radiación solar de la NASA

Los datos de radiación solar que brinda la herramienta on-line de la NASA, se puede observar la información de radiación solar presente en la zona de estudio, la cual brinda datos de algunas variables meteorológicas como se muestra en la Figura 27. Además, estos datos serán utilizados como referencia para las simulaciones respectivas en el programa HomerPro que será indicado más adelante.

	Unidad	Ubicación de datos meteorológicos		Localización de la instalación		Fuente	
Latitud		0,4		0,3		NASA	
Longitud		-78,1		-78,1			
Zona climática		3C - Templado - Oceánico					
Elevación	m	2635		2205		NASA – Mapa	
Temperatura de diseño de la calefacción	°C	15,8				NASA	
Temperatura de diseño del aire acondicionado	°C	26,6				NASA	
Amplitud de la temperatura del suelo	°C	12,5				NASA	

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Grados-días de calefacción 18 °C	Grados-días de refrigeración 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Enero	12,9	85,5%	135,47	3,96	74,6	1,8	14,0	158	90
Febrero	13,0	85,7%	152,32	4,09	74,6	1,8	14,1	140	84
Marzo	13,1	85,8%	174,22	4,35	74,6	1,8	14,1	152	96
Abril	13,2	86,6%	201,00	4,17	74,6	1,8	14,2	144	96
Mayo	12,9	85,9%	127,41	3,91	74,6	2,1	13,8	158	90
Junio	12,2	84,0%	59,10	3,80	74,6	3,0	13,1	174	66
Julio	11,8	81,8%	34,10	4,03	74,6	3,4	12,8	192	56
Agosto	12,0	79,4%	29,76	4,05	74,6	3,4	13,2	186	62
Setiembre	12,6	79,0%	58,50	3,88	74,6	2,6	13,9	162	78
Octubre	12,9	81,7%	85,56	3,86	74,6	1,9	14,2	158	90
Noviembre	13,0	83,0%	89,70	3,74	74,6	1,7	14,2	150	90
Diciembre	13,0	84,5%	102,61	3,69	74,6	1,8	14,1	155	93
Anual	12,7	83,6%	1.249,75	3,96	74,6	2,3	13,8	1.929	991
Fuente	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA

Fig. 27: Datos radiación solar de la NASA  
Fuente: (software RETScreen)

Como se detalla en la Figura 28 los valores estimados de radiación solar durante cada mes del año, con un promedio anual de  $3.96 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ .

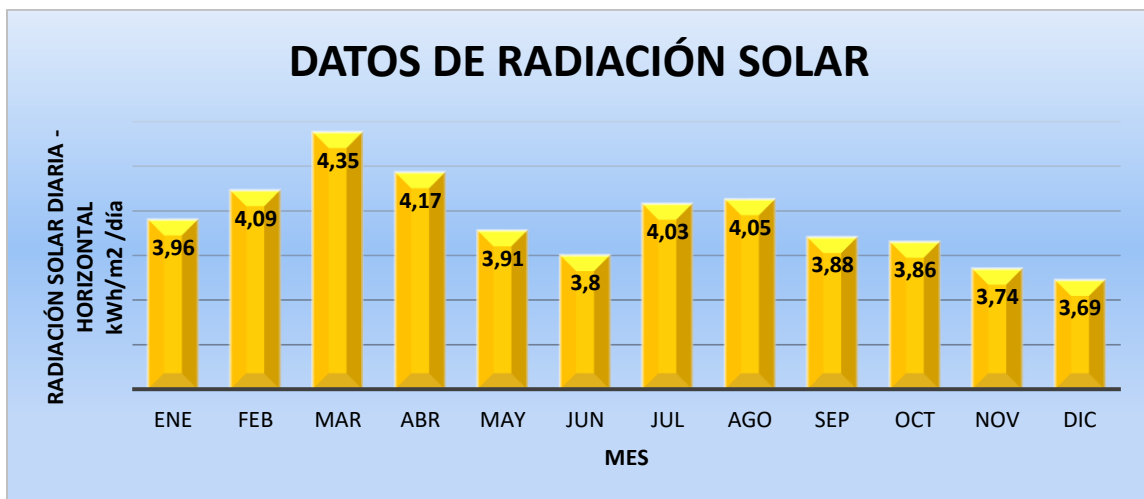


Fig. 28: Datos radiación solar mes (software RETScreen)

Fuente: Propia

El mes con mayor radiación solar es marzo con un promedio de  $4.35 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  y el mes con menor radiación solar es diciembre con un promedio de  $3.69 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ .

### c) Datos de radiación solar de SOLARGIS

Para el análisis de la irradiación solar en la ciudad de Ibarra, también se obtiene datos de la plataforma electrónica SOLARGIS, la cual es muy usada para proyectos de investigación en relación a energías renovables fotovoltaicas, los datos se muestran en la Figura 29.

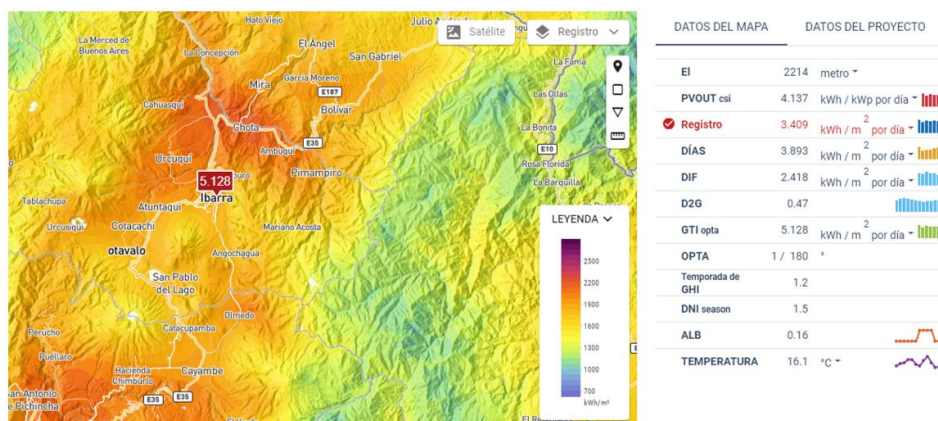


Fig. 29: Radiación solar en SOLARGIS

Fuente: (SOLARGIS 2019)

Los datos de radiación-mes que se muestran en la Figura 30, se obtienen de un informe escrito que la plataforma tecnológica ofrece a los usuarios que hacen uso del programa en el cual se

resume que la el mes con más radiación solar es el de septiembre en las coordenadas 00°20'52", -78°07'02" en la provincia de Imbabura con un promedio mensual es de 5.66 kWh/m<sup>2</sup>/día.

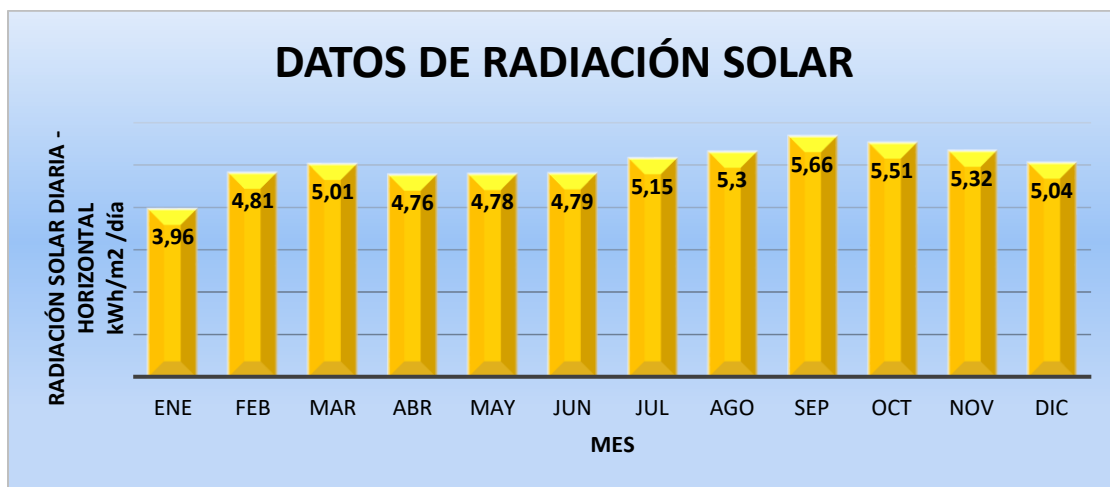


Fig. 30: Radiación solar-mes (software solargis)  
Fuente: Propia

## 2.6 Producción de energía fotovoltaica mediante la radiación solar

Con los datos de radiación solar promedio por día de cada mes, se realiza la siguiente operación matemática por medio de la Ecuación (3), dicha ecuación se la obtiene del libro “El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos” (Harper, 2012).

$$PT_{fm} = N^{\circ} \text{ días} * E * \eta * n^{\circ} \text{ paneles} * A_{\text{paneles}} \quad (3)$$

Donde:

PT<sub>fm</sub>: potencia total mensual producida en fotovoltaica

N° días: número de días en cada mes

E: incidencia de la radiación solar diaria

η: eficiencia del panel solar

n° paneles: número de paneles solares a instalar

A: área de cada panel solar

Al obtener la producción fotovoltaica de cada mes, se realiza la suma de esta potencia para determinar la energía fotovoltaica que se produce en un año. Por lo tanto, para calcular el ahorro económico que se obtiene anualmente, y el tiempo en el cual se recupera la inversión inicial se obtiene a través de la Ecuación (4) (Barón Ortiz, 2015):

$$Pam = PTfm \sim Precio(kwh) \quad (4)$$

Donde:

Pam: valor ahorrado por mes.

Precio(kWh): precio comercial del kWh por la empresa distribuidora de la zona.

## 2.6.1 Dimensionamiento de los componentes fotovoltaicos

El dimensionamiento de los componentes fotovoltaicos se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

El número de paneles solares se calcula mediante la Ecuación (5) (López Barboza, 2019).

$$n_{pan} = \frac{E_{diaria} * 1,3}{HSP * P_{pan}} \quad (5)$$

Donde:

$E_{diaria}$ : Energía diaria consumida por la empresa (W).

$P_{pan}$ : Potencia de panel (W).

HSP: Hora solar pico (h).

El 1,3 es un factor de seguridad para sobredimensionar en un 30% más por pérdidas y de esta manera asegurar la cantidad de paneles (López Barboza, 2019).

Para calcular el área del panel se utiliza la Ecuación (6) (López Barboza, 2019).

$$A_{paneles} = L * An \quad (6)$$

El área total del sistema fotovoltaico se calcula mediante la Ecuación (7) (López Barboza, 2019).

$$At = N^{\circ}_{paneles} * A_{paneles} \quad (7)$$

Para calcular el número de inversores en una instalación fotovoltaica se aplica la Ecuación (8) (López Barboza, 2019).

(8)

$$No\ inv = \frac{Pot_{generador\ fv}}{Pot_{inv}}$$

### 2.6.2 Dimensionamiento del microsistema fotovoltaico

Para el diseño del microsistema fotovoltaico ( $\mu\text{sfv}$ ), la capacidad nominal máxima instalada es de acuerdo con la Ecuación (9) (ARCONEL, 2018):

$$\text{Capacidad nominal instalada} = \frac{\sum_{i=\text{mes } 1}^{\text{mes } 12} \text{Emensual}_i(\text{kWh})}{\text{Factor}_{\text{planta de diseño}} * 8760(\text{h})} (\text{kW}) \quad (9)$$

Donde:

Emensual: Energía mensual facturada al consumidor, en caso de no contar con este registro, se podrá realizar una proyección en el estudio técnico.

Factor de planta de diseño: Determinado en el estudio técnico.

## 2.7 Cálculo de la inclinación, orientación, separación de los módulos fotovoltaicos

Luego de determinar la cantidad de paneles solares en una instalación fotovoltaica es importante tener en cuenta un factor determinante para el arreglo de las células solares. Se realiza un estudio de: inclinación, orientación, y separación de los módulos fotovoltaicos.

### 2.7.1 Cálculo de inclinación y orientación de los paneles solares

De acuerdo con la información de radiación solar media sobre un plano horizontal en la zona de estudio se puede estimar la energía fotovoltaica efectiva generada por un conjunto de paneles solares. Sin embargo, hay que definir el ángulo de inclinación óptimo de los paneles solares para posteriormente calcular la radiación solar sobre una superficie inclinada. En este punto se analiza la inclinación máxima que se le puede dar a los paneles solares.

El ángulo ( $\beta$ ) de inclinación del panel solar es importante ubicarlo de tal manera que al inicio del día se encuentre a la derecha del panel fotovoltaico y al final del día se encuentre a la izquierda. De esta manera considerando que el mayor punto de generación de radiación solar es al medio día se debe de calcular la altura ( $\alpha$ ) que alcanza el sol sobre el horizonte en ese instante, por lo tanto, se utiliza la Ecuación (11) (Rodas & Arévalo, 2016):

$$\beta = 90^\circ - \alpha \quad (10)$$

Ibarra está ubicado en la parte norte del país, entonces, los paneles solares deben estar orientados hacia el sur con la finalidad de obtener su máxima eficiencia.

Para definir el mejor grado de inclinación óptimo de los paneles solares se hace en base al factor de corrección K (Tabla 2.3) la cual está definida por el ángulo de inclinación y mes del año.

Los valores que se presentan a continuación son en relación a la latitud  $0^\circ$  que están de acuerdo a la zona o lugar de estudio.

TABLA 2. 3  
VALOR K SEGÚN INCLINACIÓN Y MES DEL AÑO

$\angle$ inclinación	$0^\circ$	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$25^\circ$	$30^\circ$
Ene	1	1,02	1,03	1,04	1,04	1,03	1,02
Feb	1	1,01	1,01	1,01	1	0,99	0,97
Mar	1	1	0,99	0,97	0,95	0,92	0,88
Abr	1	0,98	0,96	0,92	0,88	0,84	0,79
May	1	0,97	0,93	0,88	0,83	0,77	0,71
Jun	1	0,96	0,92	0,87	0,81	0,75	0,68
Jul	1	0,97	0,93	0,88	0,83	0,77	0,7
Ago	1	0,98	0,95	0,92	0,88	0,83	0,78
Sep	1	1	0,99	0,97	0,95	0,92	0,88
Oct	1	1,01	1,02	1,02	1,01	0,99	0,97
Nov	1	1,02	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03
Dic	1	1,02	1,04	1,05	1,06	1,06	1,05

Fuente: Tabla elaborado por el autor según los datos obtenidos de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC11) de Energías Renovables

Se puede argumentar que si bien las pérdidas por generación a menor inclinación son nulas por otro lado se incrementarían pérdidas por suciedad y polvo en la instalación.

## 2.7.2 Separación y sombras en los paneles fotovoltaicos

Para determinar la distancia mínima de separación entre los paneles se considera un análisis en relación a la Figura 31.

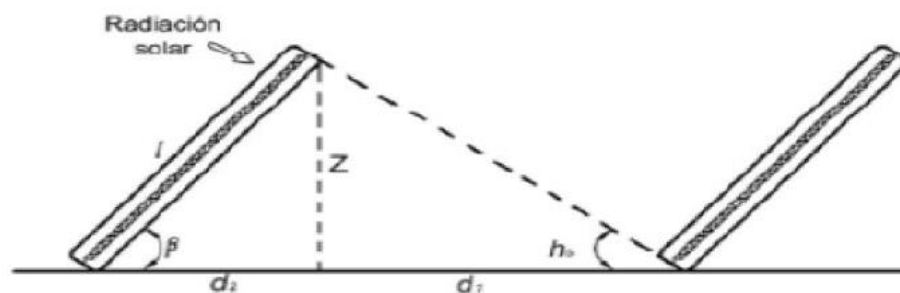


Fig. 31 Distancia entre paneles solares  
Fuente: (Rodas & Arévalo, 2016)

Para calcular la distancia de los paneles solares se basa en la Ecuación (11) (Rodas & Arévalo, 2016).

Donde:

$$d = d1 + d2 \quad (11)$$

$$d = \frac{z}{\tan(ho)} + \frac{z}{\tan(\beta)} \quad ; \quad \alpha = ho$$

$$d = \frac{l\sin(\beta)}{\tan(ho)} + \frac{l\sin(\beta)}{\tan(\beta)} \quad ; \quad \alpha = 90^\circ - \text{latitud} - \text{declinación solar}$$

$$d = l \left( \frac{\sin(\beta)}{\tan(ho)} + \cos(\beta) \right)$$

## 2.8 Software en el área de energías renovables

Dentro del avance tecnológico de las energías renovables, se encuentran hoy en día alternativas o softwares que permiten modelar sistemas de potencia distribuida para emprender proyectos basados en el uso de las energías renovables dependiendo de la necesidad de los usuarios, por lo tanto, en esta investigación se plantea la posibilidad de trabajar con el software HOMER Pro ya que ofrece al usuario la factibilidad de acceder a su programa haciendo uso de la licencia estudiantil como se indica en el Anexo A.

### 2.8.1 HOMER Pro

HOMER Pro (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) es un software que modela sistemas de energía renovable ya sean conectados a la red o aislados de la misma. Su principal ventaja es ofrecer una interfaz sencilla para el programador. Este programa permite determinar de acuerdo a la configuración fotovoltaica saber si satisface la demanda por medio de una simulación de operación, además que estima los costos de los componentes a utilizarse por medio de su propia base de datos la cual consta de alternativas y variables. HOMER Pro realiza los cálculos dependiendo de las condiciones que el usuario determine correspondientes durante la vida útil del proyecto (Barón Ortiz, 2015).

Otro aspecto importante es que HOMER Pro utiliza valores de radiación solar o velocidad de viento para casos de energía solar fotovoltaica o energía eólica respectivamente los cuales son proporcionados directamente de la base de datos meteorológica de la NASA, estos recursos a diferencia de los otros softwares son más precisos ya que son establecidos de acuerdo con su ubicación geográfica en tiempo real.

Para la comprensión de los resultados HOMER Pro modela el esquema en cual se establecen las opciones tecnológicas que se van a utilizar, es decir, para el tema de estudio serían los siguientes: paneles solares, inversor de red y la conexión a la red eléctrica con lo cual ya se pueden configurar los diferentes equipos tecnológicos que van intervenir en la simulación. Para su mayor seguridad HOMER Pro identifica errores y especifica en lugar donde se encuentra el mismo al momento de ingresar los datos (Barón Ortiz, 2015).

## 2.8.2 Guía general de HOMER Pro

Para el desarrollo del tema de investigación y una vez ya elegido el software para trabajar en el presente estudio para diseñar el sistema microfotovoltaico, a continuación, se presentan los pasos a seguir para familiarizarse rápidamente con el software HOMER Pro.

- Primeramente, hay que determinar el nombre del proyecto y localización de la zona de estudio en la parte del mapa mundial que se observa en el programa, cuando se determina el lugar de estudio el programa facilita los datos de radiación solar, velocidad de viento y temperatura de acuerdo a la base de datos meteorológicos de la NASA. Ver Figura 32.

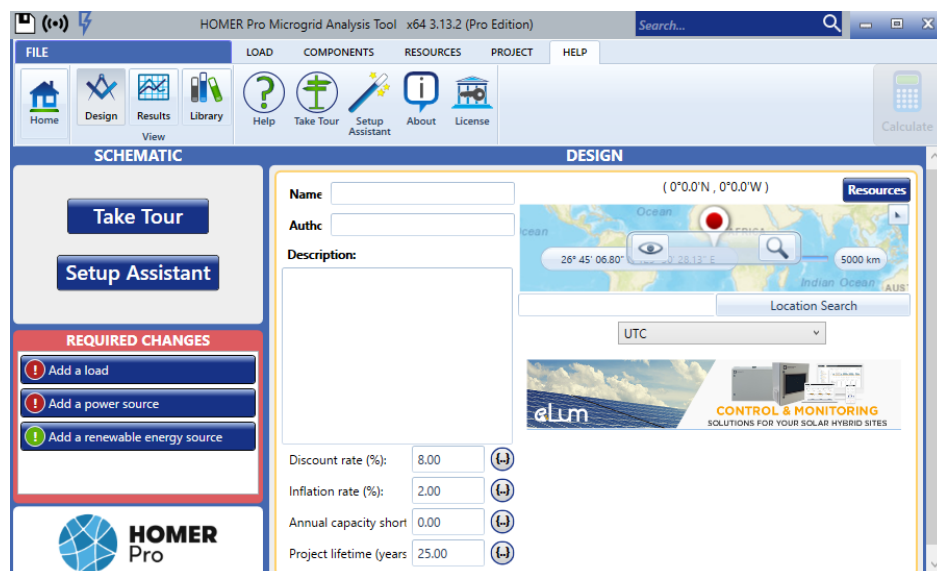


Fig. 32: Ventana principal del software HomerPro  
Fuente: Propia

- A continuación, el programa indica cuatro muestras de carga hay que seleccionar la que está de acuerdo con el proyecto (Figura 33) y adicional hay que especificar la carga promedio diario (kWh/día), para el mes pico hay que dejar el predeterminado ninguno (none).



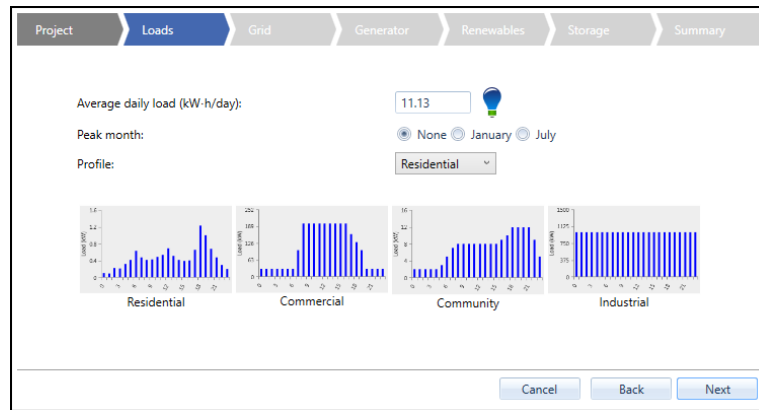


Fig. 33: Perfil de carga eléctrica  
Fuente: Propia

- A continuación, se configura si el sistema está o no conectado a la red, se indica el valor del precio kWh (\$) de acuerdo con la tarifa eléctrica y también hay que seleccionar una de las opciones en la que está orientado el proyecto para este caso sería de vender a la red eléctrica (Figura 34). Si es el caso de un sistema no conectado a la red, entonces no se agregue un componente de red.

Fig. 34: Sistema grid  
Fuente: Propia

- Posteriormente el asistente en la configuración incluye un generador, el cual permite ingresar el costo y el tamaño característico de un generador (Figura 35), pero el presente proyecto excluye este dato por lo cual los valores se dejan los predeterminados por el programa, ya en diseño del sistema se puede eliminar u omitir esta función.

Fig. 35: Generador  
Fuente: Propia

- A continuación, en la ventana “*Renewables*” se muestran dos componentes que se usan en sistemas de energía renovable (Figura 36). Aquí se selecciona la opción fotovoltaica o eólica, de acuerdo con el diseño de sistema pueden ser ambas. Para este proyecto de estudio en el diseño del panel solar hay que especificar las características técnicas: modelo y potencia del panel, costo y un inversor de corriente. HOMER Pro por su parte descarga el recurso solar de internet de acuerdo con la ubicación geográfica del usuario.

Fig. 36: Componentes de energía renovable  
Fuente: Propia

- En este punto se debe especificar las características de la batería la cual cumple con la función del almacenamiento de la energía (Figura 37). Para nuestro presente estudio se

determinó omitir el banco de baterías por ser un sistema conectado a la red y desde el punto de vista económico.

Fig. 37: Almacenamiento de energía (baterías)  
Fuente: Propia

- Por último, el programa tiene la opción de calcular (Figura 38), para un posterior análisis hay que seleccionar con los casos de sensibilidad “*include Sensitivity Cases*”, y así se obtiene los datos que entrega el programa.

Fig. 38: Cálculo del sistema  
Fuente: Propia

Para analizar los resultados obtenidos por este software, hay que verificar que la simulación este de acuerdo con las características correspondientes del proyecto.

Otro aspecto a tener en cuenta es la moneda en cual se realiza la simulación, para nuestro caso deben realizarse los cálculos en la moneda local (dólares), como se ve en la Figura 39, hay que ir a opción PROJECT en la herramienta “economics” se selecciona la opción para la moneda con la que se trabajara.

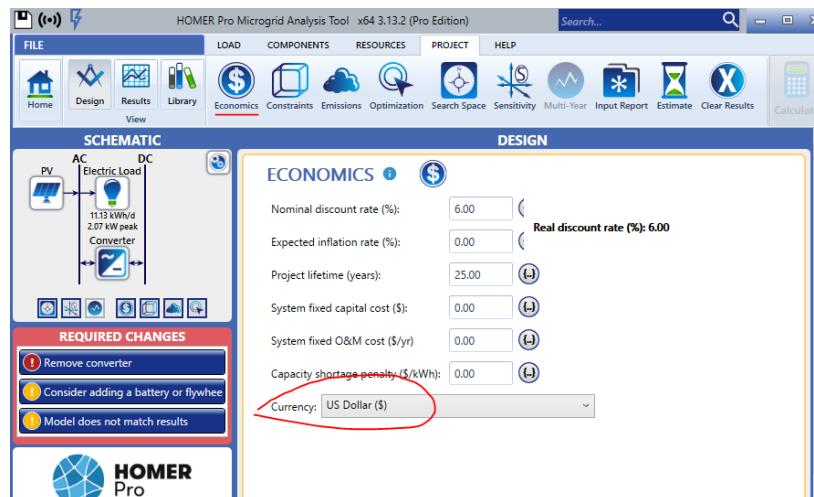


Fig. 39: Característica de la simulación  
Fuente: Propia

En la Figura 40, se configura el precio del kWh que se compra de la red y el precio del kWh que se vende a la red. En Ecuador la tarifa de electricidad promediada es de \$ 0,0926 USD/kWh mientras que el costo de la energía producida por un sistema fotovoltaico en el Ecuador es de USD/kWh 0,1342 (Muñoz et al., 2018).

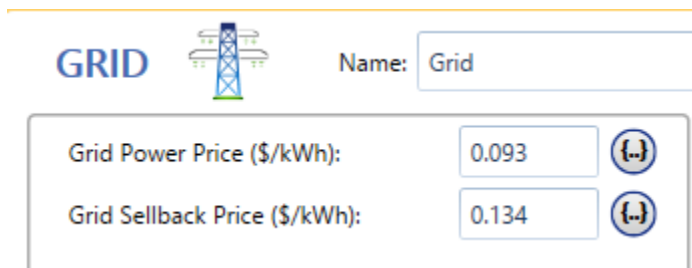



Fig. 40: Precio de compra - venta de energía eléctrica  
Fuente: Propia

La Figura 41 muestra la configuración del inversor de red: la capacidad nominal del sistema y debe estar en paralelo con la red, el costo de este dispositivo se introduce de acuerdo con la base de datos del software o manualmente si es el caso.

**CONVERTER**  SMA America SB2000HFUS-30 (208V) Name: SMA America SB2000H Remove  
Complete Catalog Abbreviation: SMA2.0 Copy To Library

**Properties**  
Name: SMA America SB2000HFUS-30 (208V)  
Abbreviation: SMA2.0  
[CEC Inverters](#)  
Notes:  
This component comes from the CEC inverter database, which was most recently updated in August 2017. The nominal capacity is 208V CEC data for this inverter.


**Costs**

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$0.0	\$0.0	\$0.0

Click here to add new item

Multiplier:

**Capacity Optimization**  
☒ HOMER Optimizer™  
☐ Search Space  
☐ Advanced


**Generic**  
[homerenergy.com](http://homerenergy.com) 

**Inverter Input**  
Lifetime (years): 20.00   
Efficiency (%): 97.20   
☒ Parallel with AC generator?

**Rectifier Input**  
Relative Capacity (%): 0.00   
Efficiency (%): 100.00

Fig. 41: Configuración del inversor de red (HomerPro)  
Fuente: Propia

Para ingresar los datos técnicos y el costo de los paneles solares estos van de acuerdo con el estudio del consumo eléctrico del usuario o a su vez de acuerdo con el espacio disponible donde vayan a instalarse, en caso de que HOMER Pro no cuente en su base de datos paneles de acuerdo con las características o valor nominal que se requieren se debe elegir un panel con un valor aproximado.

**PV**  Name: Generic flat plate PV Abbreviation: PV 390 Remove  
Copy To Library

**Properties**  
Name: Generic flat plate PV  
Abbreviation: PV 390  
Panel Type: Flat plate  
Rated Capacity (kW): 2.340  
Manufacturer: Generic  
[www.homerenergy.com](http://www.homerenergy.com)  
Notes:  
This is a generic PV system.

**Cost**

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1.5	1,154.80	0.00	0.00

Lifetime time (years): 20.00  More...

**Site Specific Input**  
Derating Factor (%): 89.00

**Sizing**  
☐ HOMER Optimizer™  
☒ Search Space  
kW  
1.5

**Electrical Bus**  
☐ AC ☒ DC

Fig. 42: Configuración panel solar (HomerPro)  
Fuente: Propia

La Figura 43 muestra el esquema final del sistema fotovoltaico.

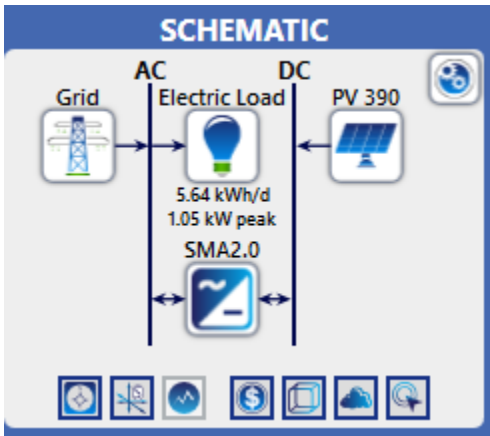


Fig. 43: Esquema del sistema fotovoltaico  
Fuente: Propia

## 2.9 Viabilidad económica

La etapa final de la investigación es realizar un análisis de viabilidad económica para determinar la magnitud de los beneficios netos de cualquier tipo de proyectos de inversión.

Para saber si nuestra investigación es económicamente rentable se lo realiza de acuerdo con los siguientes términos financieros:

- VAN
- TIR
- PAYBACK

### 2.9.1 Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto es la suma algebraica del valor actualizado de todos los flujos de caja (ingresos y egresos) durante un período determinado de tiempo. Se representa por la ecuación (12) (Romero & Flores, 2019):

$$VAN = -inversión + \sum_{t=1}^n \frac{capital}{(1+i)^n} \quad (12)$$

Donde:

n: la tasa de descuento

### **2.9.2 Tasa interna de retorno (TIR)**

Es la tasa de descuento que hace que en VAN sea igual a cero. En otras palabras, el TIR es un indicador de rentabilidad del proyecto; a mayor TIR mayor rentabilidad. Se representa con la Ecuación (13) (Romero & Flores, 2019).

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{capital}{(1+i)^n} \quad (13)$$

### **2.9.3 Periodo de recuperación (PAYBACK)**

Es el tiempo en el que un proyecto recupera el capital de inversión y desde ahí empieza a generar ganancias o dinero. Es un indicador de riesgo puesto que a mayor tiempo de recuperación de inversión mayor tiempo de incertidumbre.

## CAPÍTULO 3

### Análisis e interpretación de resultados

#### 3.1 Propuesta de la investigación

La finalidad de esta investigación está basada en reducir la facturación por consumo de energía eléctrica y dar flexibilidad a la matriz energética del país, por lo cual se propone un sistema de microgeneración fotovoltaico conectado a la red de acuerdo con la regulación Nro. ARCONEL - 003/18.

Para lo cual, se realizará un estudio técnico-económico en la casa del sr. Santander Portilla Ismael, usuario de la Empresa Eléctrica del Norte EMELNORTE S.A. quien facilitará los datos necesarios para su respectivo análisis.

#### 3.2 Viabilidad técnica

Para evaluar técnicamente la posible implementación del sistema de microgeneración fotovoltaico en áreas residenciales es necesario considerar varios aspectos: Ubicación geográfica, recurso solar, diagnóstico del consumo eléctrico.

##### 3.2.1 Dimensionamiento del sistema microfotovoltaico conectado a la red

El sistema de microgeneración fotovoltaico debe ser muy confiable ya que el sistema emplea varios elementos y el fallo de alguno de estos puede poner en riesgo a otro miembro que conforma el sistema.

El dimensionamiento se sustenta en un correcto balance de la energía, es decir:

$$\text{Energía generada} = \text{energía consumida} + \text{perdidas propias del sistema} + \text{acumulación}$$

El sistema microgenerador fotovoltaico satisface necesidades del usuario final teniendo en cuenta los datos climatológicos y la carga que debe soportar el equipo, en la implementación de esta tecnología el usuario debe ser capacitado para que de esta manera prolongue la vida útil del sistema, el correcto mantenimiento es primordial.



### 3.2.2 Análisis estadístico del consumo eléctrico

Los datos del usuario de acuerdo con el comportamiento del consumo eléctrico están basados en el periodo enero 2019 - diciembre 2019, la Tabla 3.1 demuestra las cifras facturadas por concepto de consumo de energía eléctrica mensuales.

TABLA 3. 1  
REGISTRO DEL CONSUMO ELÉCTRICO

Mes	Consumo (kWh)	Facturación (\$)
Enero	118	17,70
Febrero	133	20,80
Marzo	143	20,82
Abril	126	18,90
Mayo	157	23,95
Junio	137	21,33
Julio	126	19,90
Agosto	171	25,82
Septiembre	154	23,56
Octubre	175	26,35
Noviembre	157	23,95
Diciembre	126	19,90

Fuente: Tabla realizada por el autor en base a la planilla eléctrica del usuario. (Anexo B).

El historial del consumo eléctrico del usuario de la empresa de EMELNORTE se muestra en la Figura 44, el mes de mayor demanda eléctrica es en octubre.

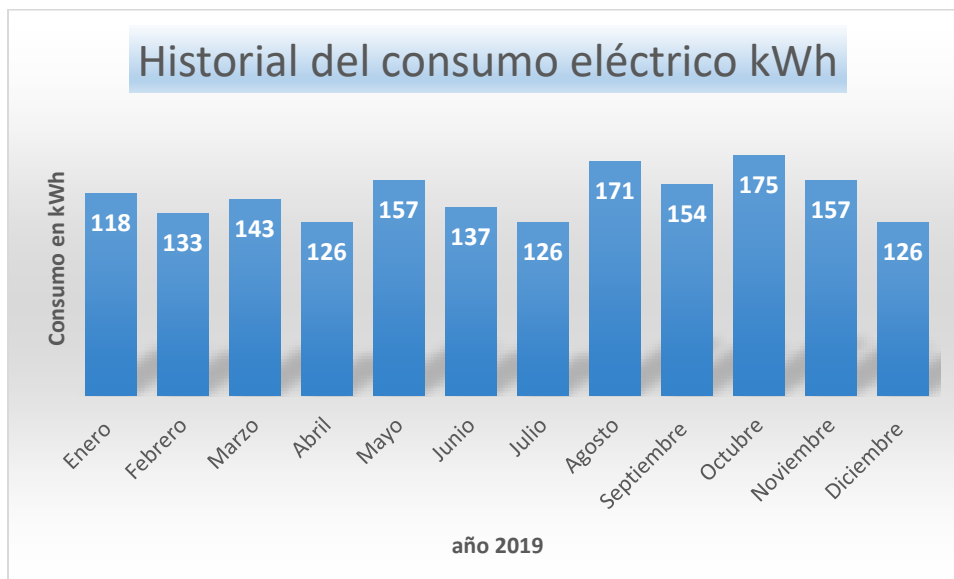


Fig. 44: Historial del consumo eléctrico kWh

Fuente: Propia

En la Figura 44 se observa que el mes con más consumo eléctrico fue en octubre del 2019 con un consumo del 175 kWh con una tensión de operación de 110V, para lo cual, se tomara dicho valor para dimensionar el número de paneles que requiere la instalación. La facturación del servicio eléctrico se encuentra en el Anexo B.

### 3.2.3 Análisis estadístico de radiación solar

El parámetro meteorológico local más importante que determina la producción eléctrica es la radiación solar que influye de manera directa, la cual alimenta la instalación fotovoltaica. Por lo tanto, se toma en cuenta los datos que proporciona el portal web de la NASA para determinar valores exactos en la ciudad de Ibarra, ya que a su vez dichos valores interactúan con el software HOMER Pro para la simulación respectiva que se realizara más adelante.

La producción eléctrica también está influenciada por la temperatura del aire. Otros parámetros meteorológicos también afectan al rendimiento, disponibilidad y envejecimiento de la instalación.

TABLA 3. 2  
PARÁMETROS SOLARES

Mes	Radiación diaria kWh/m <sup>2</sup> /d	Temperatura °c
Enero	3.96	19.910
Febrero	4.09	20.300
Marzo	4.35	20.650
Abril	4.17	20.970
Mayo	3.91	21.250
Junio	3.80	21.080
Julio	4.03	21.160
Agosto	4.05	21.930
Septiembre	3.88	22.000
Octubre	3.86	21.340
Noviembre	3.74	20.370
Diciembre	3.69	19.930

Fuente: Tabla elaborada por el autor, datos tomados del software HomerPro

El portal web de la NASA visualiza un promedio de los últimos 22 años, entonces dependiendo de las coordenadas especificadas para este caso en la ciudad de Ibarra la radiación promedio es de 3.96 kWh/m<sup>2</sup>/día.

### 3.2.4 Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos

Con la información real obtenida del consumo eléctrico en el *numeral* 3.2.1 se procede a dimensionar el número de paneles fotovoltaicos para cubrir la demanda en este caso de estudio, por lo cual se toma valor más alto en función del año (2019) que es de 175 kWh del mes de octubre como se observa en la Tabla 3.1. Hay que tener en cuenta en nivel de radiación solar presente en el lugar de estudio, de la Tabla 3.2 se obtiene el valor de la irradiación promedio.

Para el cálculo de los paneles solares se buscó en el mercado local paneles de los cuales se obtiene las siguientes características que se indican en la Tabla 3.3, el presente cálculo se va realizar en función de 3 paneles solares con potencias de 280 W, 335 W, y 390 W con el fin de saber cuál panel es más rentable.

TABLA 3. 3  
CARACTERÍSTICAS DE PANELES SOLARES

Equipo	Modelo	Potencia	Precio
<b>MD094</b>	JINKO SOLAR JKM280PP-60	280 W	207,07 \$
<b>MD086</b>	JINKO SOLAR JKM335PP-72	335 W	247.98 \$
<b>MD092</b>	JINKO SOLAR Cheetah HC JKM390M-72H-V	390 W	288.70 \$

Fuente: (Renova Energy, 2019) Anexo C

Para determinar la cantidad de paneles solares que van a operar es necesario saber el número de horas pico solar (HSP), para lo cual se toma el valor de irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup> el cual es un equivalente a la radiación total diaria.

La cantidad de horas de sol o también conocido como heliofanía es medido por el heliofanógrafo. En nuestro país estos datos son proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), datos que se detallan a continuación en la Tabla 3.4. El promedio de las horas solar pico (HSP) en la ciudad de Ibarra es de 3,94h.

TABLA 3. 4  
HORAS SOLAR PICO

Mes	Día	Heliofanía/ho	HSP
	s	ras	
Enero	31	71,8	2,32
Febrero	28	51,2	1,83
Marzo	31	97,5	3,15
Abril	30	71,8	2,39
Mayo	31	87,4	2,82
Junio	30	132,2	4,41
Julio	31	159,3	5,14
Agosto	31	141,4	4,56
Septiembre	30	178,2	5,94

Octubre	31	144	4,65
Noviembre	30	148,9	4,96
Diciembre	31	158,5	5,11
		<b>HSP</b>	3.94

**promedio:**

Fuente: Tabla realizada por el autor, datos de heliofania obtenidos de: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202011.pdf>

A continuación, se plantean dos opciones para determinar el número de paneles solares que serían necesarios para dimensionar el sistema fotovoltaico.

1. De acuerdo con el espacio físico de la casa de estudio.
2. De acuerdo con el consumo eléctrico máximo del usuario.

#### **a) De acuerdo con el espacio físico**

De acuerdo con la casa de estudio, estos paneles se ubicarán la parte superior de la vivienda (techo), el espacio disponible es de 32m<sup>2</sup> con un ángulo de inclinación de 20°, por lo tanto, hay que tener en cuenta las medidas de los paneles solares que se indican en la Tabla 3.5. El número de paneles va de acuerdo con la Ecuación (14) (López Barboza, 2019):

$$n_{pan} = \frac{S_{disp}}{S_{panel}} \quad (14)$$

Donde:

$S_{disp}$ : metros cuadrados disponible para instalación

$S_{panel}$ : área cubierta por cada panel

TABLA 3. 5  
MEDIDAS DE LOS PANELES SOLARES

	Potencia W	Largo mm	Ancho mm	$S_{panel}$ m <sup>2</sup>
pan <sub>1</sub>	390	2008	1002	2,01
pan <sub>2</sub>	335	1956	992	1,94
pan <sub>3</sub>	280	1650	992	1,64

Fuente: (Renova Energy, 2019)

Entonces,

$$n_{pan1} = \frac{32}{2,01} = 15,92 = 16 \text{ paneles}$$

$$n_{pan2} = \frac{32}{1,94} = 16,49 = 16 \text{ paneles}$$

$$n_{pan3} = \frac{32}{1.64} = 19.51 = 19 \text{ paneles}$$

Por lo tanto, para una mejor inversión económica será más factible el uso del pan<sub>2</sub> de 335 W ya que sería una cantidad de 16 paneles.

**b) De acuerdo con el consumo eléctrico del usuario.**

Para calcular el número de paneles solares de acuerdo con el consumo eléctrico, previamente hay que determinar la energía diaria consumida por el usuario, entonces, según el historial de facturación del año 2019 el mes de pago más elevado será calculado mediante la Ecuación (15) (López Barboza, 2019).

$$E_{diario} = \frac{E_{mensual}}{\text{días}} \quad (15)$$

Para este caso el mes de octubre es que más valor elevado presenta con un consumo de 175 kWh, entonces:

$$E_{diario} = \frac{175}{31} = 5,64 \text{ kWh}$$

Por lo tanto, la potencia diaria es de 5645 Wh, y la hora solar pico de acuerdo con el mes de octubre es de 4,65h.

Entonces, aplicando la Ecuación (5), se obtiene los siguientes resultados.

$$n_{pan1} = \frac{5645 \text{ Wh} * 1,3}{4,65h * 390 \text{ W}} = 4,05 = 4 \text{ paneles}$$

$$n_{pan2} = \frac{5645 \text{ Wh} * 1,3}{4,65h * 335 \text{ W}} = 4,71 = 5 \text{ paneles}$$

$$n_{pan1} = \frac{5645h \text{ Wh} * 1,3}{4,65h * 280 \text{ W}} = 5,64 = 6 \text{ paneles}$$

La cantidad de paneles que se necesitarían para suplir la carga eléctrica del usuario va de acuerdo con la potencia del panel, para este caso, desde el punto de vista económico lo recomendable sería hacer el uso de 4 paneles de 390 W. A continuación, en la Figura 46 se indican las medidas del panel seleccionado. Adicionalmente en la Tabla 3.3 se indica el valor económico del panel solar y sus características en el Anexo C.

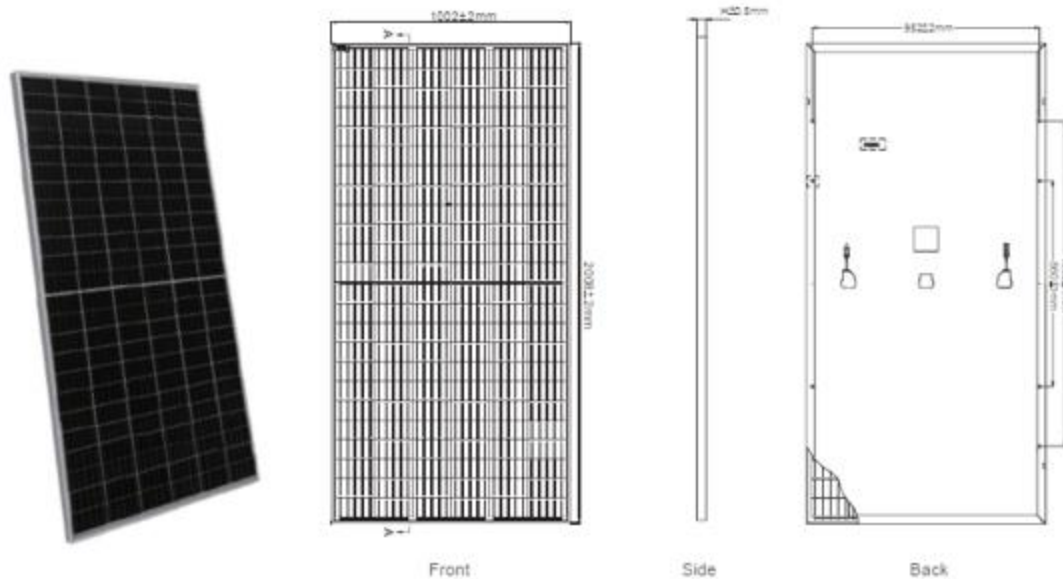


Fig. 45: Medidas del panel fotovoltaico de 390 W

Fuente: (Renova Energy, 2019)

Entonces, basándose en la Ecuación (7), el área del panel es de 2,01 m<sup>2</sup>, resultado obtenido de la Tabla 3.5.

Y, para determinar el área que será utilizado por los 4 paneles de 390W se realiza de acuerdo con la Ecuación (8).

$$At = 4 * 2,01\text{m}^2$$

$$At = 8.04 \text{ m}^2$$

En conclusión, el área utilizada por la cantidad de paneles solares está dentro de la zona disponible para su instalación en la casa de estudio.

Las características del panel solar de 390W se describen a continuación, ver Tabla 3.6.

TABLA 3. 6  
CARACTERÍSTICAS DEL PANEL 390W

Equipo	Modulo fotovoltaico Jinko Solar
Potencia nominal (Pnom)	390 W
Voltaje de circuito abierto (Voc)	49,3 V
Voltaje pico (Vmpp)	41, 1 V
Corriente pico (Impp)	4,49 A
Voltaje máximo del sistema	1500 V

Corriente de cortocircuito (Isc)	10,12 A
Coeficiente de temperatura (Isc)	0,048 %°C
Coeficiente de temperatura (Voc)	-0.28 %°C
Peso	22.5 kg
Dimensiones	2008 – 1002 – 40 mm

Fuente: (Renova Energy, 2019)

### 3.2.5 Selección del inversor

Para convertir la corriente directa (DC) de los paneles a corriente alterna (AC) el dispositivo fotovoltaico encargado de este proceso es el inversor. Entonces, este equipo debe soportar una potencia mínima en función del número de paneles, entonces, de acuerdo con la potencia de los paneles se plantea la Ecuación (17) (Alvarez & Vaca, 2014):

$$W_{\text{inversor}} = W_p * N \quad (16)$$

Donde:

Wp: potencia pico del panel

N: número de paneles

Entonces,

- Previamente se determinó que se usarían 4 paneles solares de 390 W y aplicando la fórmula de la Ecuación (16), se obtiene el siguiente resultado.

$$W_{\text{inversor}} = 390 \text{ W} * 4 = 1560 \text{ W}$$

Se opta por la elección del inversor de marca Sunny Boy 2.0 (Figura 46) ya que es un inversor compacto monofásico/bifásico ideal para este tipo de sistemas microfotovoltaicos residenciales. Por su diseño este equipo lleva a cabo una monitorización local mediante su red inalámbrica. Este inversor puede trabajar hasta una potencia máxima de generación fotovoltaica de 3000 Wp.



Fig. 46: Inversor Sunny Boy 2.0  
Fuente: Obtenido de (Proviento, 2019)

Las características técnicas más principales se describen a continuación. La Tabla 3.7 indican las especificaciones del modelo del inversor de red.

TABLA 3. 7  
DATOS DEL INVERSOR DE RED

<b>Equipo</b>	<b>Inversor de Red</b>
Código y modelo	Sunny Boy 2.0
<i>Datos de entrada</i>	
Potencia FV máx. (kWp)	3000 Wp
Voltaje de entrada máx.	600 V
Voltaje de entrada mín.	50 V / 80 V
Corriente máxima por string	10 A
Corriente de cortocircuito máx. por string	18 A
Rango de voltaje del MPP	160V – 500 V
<i>Datos de salida</i>	
Potencia máxima de salida	2000 W
Potencia máx. aparente CA	2000 VA
Voltaje nominal de CA	220 V / 230 V / 240 V
CC máxima de salida (208 y 240 )	7 A
Eficiencia	97.2 %
Frecuencia	60 Hz
Factor de potencia	1

Fuente: Ficha técnica (Anexo C)

### 3.2.6 Producción de energía fotovoltaica mensual

Se define que el ángulo óptimo de inclinación del módulo fotovoltaico es de 20 grados con una radiación solar promedio inclinada de 3,88 kWh/m<sup>2</sup>día.

Finalmente, se calcula la potencia total mensual producida por la instalación fotovoltaica, la misma que se hace en base a la Ecuación (4) anteriormente planteada. En la tabla 3.8 se muestra el resultado de la energía fotovoltaica efectiva por mes, la misma que resulta del producto del área total de los paneles, eficiencia promedio y la radiación solar mensual (kWh/m<sup>2</sup>). La capacidad total es de 2116 kWh al año.

TABLA 3. 8  
ENERGÍA FOTOVOLTAICA EFECTIVA

<b>MES</b>	<b>Radiación solar media</b>	<b>Radiación solar inclinada a 20° kWh/m<sup>2</sup>día</b>	<b>Energía Fotovoltaica Efectiva kWh</b>
Ene	3,96	4,12	199
Feb	4,09	4,09	178,44



Mar	4,35	4,13	199,49
Abr	4,17	3,67	171,55
May	3,91	3,25	156,98
Jun	3,8	3,08	143,97
Jul	4,03	3,34	161,73
Ago	4,05	3,56	171,96
Sep	3,88	3,69	172,49
Oct	3,86	3,90	188,28
Nov	3,74	3,93	183,71
Dic	3,69	3,91	188,86
		Total	2116 kWh

Fuente: Tabla realizada por el autor, el proceso matemático se adjunta en el Anexo D.

Luego de determinar capacidad de producción fotovoltaica efectiva durante un año, esta producción con el tiempo tiende a disminuir ya que el rendimiento de los paneles tiende a disminuir. Los fabricantes garantizan una degradación de rendimiento para un periodo de 25 años de vida útil del módulo, el deterioro se indica en la Figura 47.

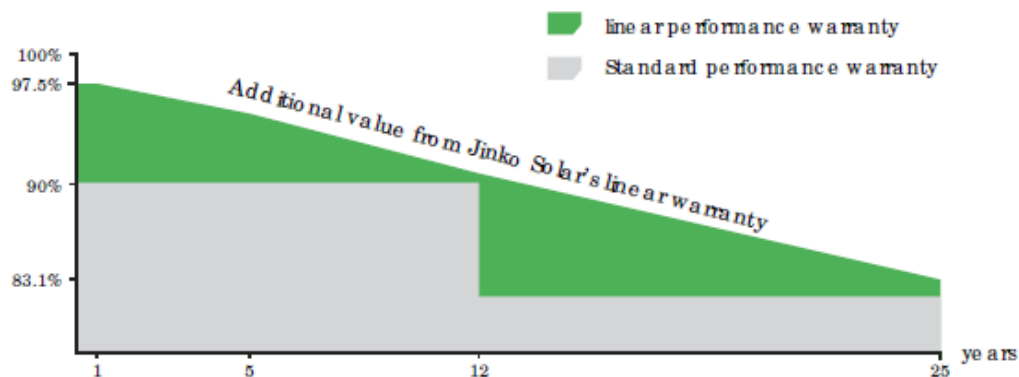


Fig. 47: Curva de degradación para paneles Jinko JKM 390 W

Fuente: Ficha técnica del fabricante, Anexo C1.

Entonces aplicando el método Suns-Vmp en el cual indica que los módulos solares se degradan a una tasa de 0.7% por año (Romero & Flores, 2019). La Tabla 3.9 muestra los resultados de la degradación del panel solar.

TABLA 3. 9:  
DEGRADACIÓN DEL PANEL JINKO JKM 390

Año	Rendimiento	kWh
1	100%	2116
2	99.3 %	2101
3	98.6 %	2086
4	97,9 %	2072

5	97.2 %	2058
6	96.5 %	2042
7	95.8 %	2027
8	95.1 %	2012
9	94.4 %	1998
10	93.7 %	1983
11	93.0 %	1968
12	92.3 %	1953
13	91.6 %	1938
14	90.9 %	1923
15	90.2 %	1909
16	89.5 %	1894
17	88.8 %	1879
18	88.1 %	1864
19	87.4 %	1849
20	86.7 %	1834

Fuente: Tabla elaborada por el autor, la pérdida de rendimiento del panel es al 7%

### 3.2.7 Energía fotovoltaica efectiva vs Energía consumida por el usuario

La Tabla 3.10 muestra un análisis con respecto al año 2019.

TABLA 3. 10  
ENERGÍA FOTOVOLTAICA EFECTIVA VS ENERGÍA CONSUMIDA (2019)

Mes	Producción energética fotovoltaica efectiva	Consumo (kWh) EMELNORTE S.A.	Inyección a la red kWh
Ene	199	118	81
Feb	178	133	45
Mar	199	143	56
Abr	172	126	46
May	157	157	0
Jun	144	137	7
Jul	162	126	36
Ago	172	171	1
Sep	172	154	18
Oct	188	175	13
Nov	184	157	27
Dic	189	126	63
<b>Total.</b>	<b>2116</b>	<b>1723</b>	<b>393</b>

Fuente: Propia

La tabla nos muestra que el consumo de la red eléctrica en el año 2019 fue de 1723 kWh, y en lo que respecta a la producción efectiva fotovoltaica es mayor al consumo con una diferencia de 393 kWh, ahora, esto significa que se abastece el consumo eléctrico con el sistema fotovoltaico y este excedente no se lo vende a la red eléctrica (net billing) si no que se hace el proceso de balance neto (net metering), es decir, este excedente se lo incrementa a la producción

fotovoltaica del siguiente año en caso de que el consumo de la red eléctrica sea mayor a la producción fotovoltaica y de esta manera reducir el costo de la planilla eléctrica.

Más adelante analizaremos si la implementación de este sistema microfotovoltaico es factible con una duración de 20 años de acuerdo con la regulación Nro. ARCONEL - 003/18.

### 3.3 Viabilidad económica

Para la viabilidad económica se realiza el análisis de flujo de caja para el periodo de 20 años, tiempo de vida útil del proyecto de acuerdo con la presente regulación de estudio. Se evaluará el VAN – TIR para el correcto análisis de la investigación.

#### 3.3.1 Inversión inicial

El presupuesto para la implementación de la micro central fotovoltaica depende de la cantidad de materiales y equipos tecnológicos. A continuación, en la Tabla 3.11 se describe el valor de la inversión inicial. Se cobrará un valor del 15 % de la inversión inicial por la instalación.

TABLA 3. 11  
PRESUPUESTO DE LA INVERSIÓN INICIAL

ÍTEMS	Descripción	Cantidad	Precio	Total
1	Panel solar JINKO SOLAR de 390 W	4	288,70	1154,80
2	Inversor de red Sunny Boy 1.5	1	1190,00	1190,00
3	Sistema de montaje	4	10	40,00
4	Medidor Bidireccional	1	30,00	30,00
5	Varios	1	200,00	200,00
			Sub Total	2614,80
6	Instalación	15%	15%	392,22
			<b>Total</b>	<b>3007,02</b>

Fuente: Tabla realizada por el autor, el valor de los paneles solares se la indica en el Anexo C, los otros precios se hace uso de las plataformas en la web relacionadas a la venta de estos equipos, en este caso de pág. web: [https://heliostategiaecuador.com/?page\\_id=1402](https://heliostategiaecuador.com/?page_id=1402)

#### 3.3.2 Ingresos y egresos anuales

En este punto se analiza el comportamiento que tendrá el consumo del usuario vs la producción fotovoltaica en los próximos 20 años.

El consumo eléctrico en los últimos dos años fue de:

2018 = 1469 kWh

2019 = 1723 kWh

Datos que se obtienen del Anexo B, teniendo en cuenta estos datos el crecimiento de la demanda fue de 1,17 %, entonces, se aplicó el método de regresión lineal simple para aproximar el consumo escalonado creciente de los próximos 20 años. En la Tabla 3.12 se indica como sería tal comportamiento.

TABLA 3. 12  
REGRESIÓN LINEAL SIMPLE (2020-2039)

<b>Año</b>	<b>Consumo kWh</b>	<b>Año</b>	<b>Consumo kWh</b>
2021	2231	2031	4771
2022	2485	2032	5025
2023	2739	2033	5279
2024	2993	2034	5533
2025	3247	2035	5787
2026	3501	2036	6041
2027	3755	2037	6295
2028	4009	2038	6549
2029	4263	2039	6803
2030	4517	2040	7057

Fuente: Tabla realizada por el autor, el procedimiento de la regresión lineal se muestra en el Anexo E.

Ahora, se analiza el consumo eléctrico proyectado vs la producción energética fotovoltaica efectiva. Adaptándose a la regulación Nro. ARCONEL – 003/18 en el capítulo II de las condiciones generales para la participación de consumidores con microsistemas fotovoltaicos, se tiene los siguientes resultados. Ver Tabla 3.13 sobre el tratamiento comercial de la energía producida por sistemas fotovoltaicos.

TABLA 3. 13  
TRATAMIENTO COMERCIAL

<b>Año</b>	<b>Consumo kWh</b>	<b>Energía fotovoltaica efectiva kWh</b>	<b>Diferencia kWh</b>	<b>Saldo USD/kWh</b>
2021	2231	2116	115	11,16
2022	2485	2101	384	37,25
2023	2739	2086	390	63,34
2024	2993	2072	667	89,34
2025	3247	2058	935	115,33
2026	3501	2042	1205	141,52
2027	3755	2027	1474	167,62
2028	4009	2012	1743	193,71
2029	4263	1998	2011	219,71
2030	4517	1983	2280	245,80
2031	4771	1968	2549	271,89
2032	5025	1953	2818	297,98

2033	5279	1938	3087	324,08
2034	5533	1923	3356	350,17
2035	5787	1909	3624	376,17
2036	6041	1894	3893	402,26
2037	6295	1879	4162	428,35
2038	6549	1864	4431	454,45
2039	6803	1849	4700	480,54
2040	7057	1834	4969	506,59
			Total	5177,23

Fuente: Tabla realizada por el autor, se aplica el concepto de balance neto de acuerdo a la regulación Nro. ARCONEL – 003/18, El valor de la energía USD/kWh es de 0,097 en base a la regulación Nro. ARCONEL – 035/19

De la Tabla 3.13 se puede acotar que existe una reducción al momento de pagar por el servicio eléctrico. A continuación, se realiza un análisis de dicha situación.

Pues bien, según la demanda de consumo eléctrico proyectada en el periodo 2021 – 2040 de no haber el sistema fotovoltaico instalado se tendría que pagar un valor de \$ 9009,36 dólares por el consumo del servicio eléctrico, pero con la instalación del sistema microfotovoltaico el valor es de \$ 5177,23 dólares con un ahorro de \$3832,08 dólares.

Es este punto también cabe resaltar que el usuario debe cancelar a la empresa eléctrica una tarifa básica que incluye: pago por alumbrado público en función del consumo mensual, tarifa de comercialización, rubros de bomberos y basura (Romero & Flores, 2019).

Desde el año 2021 el consumo de la red proyectado es superior al inyectado por el sistema fotovoltaico (Figura 48).

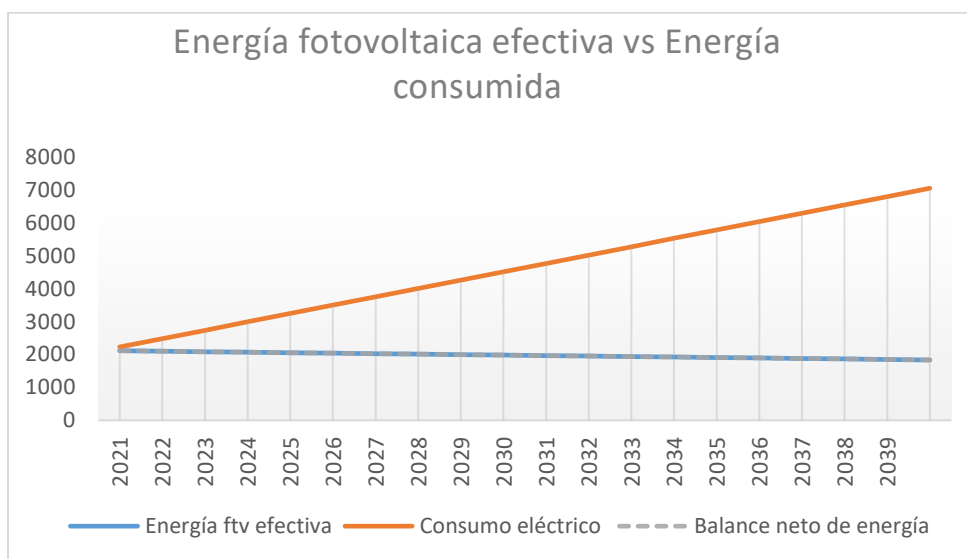


Fig. 48: Energía fotovoltaica efectiva vs energía consumida

Fuente: Propia

La Tabla 3.14 muestra los ingresos anuales por la instalación microfotovoltaica, entonces, de acuerdo con la pérdida del rendimiento de los paneles se tiene los siguientes resultados:

TABLA 3. 14  
INGRESOS ANUALES

<b>Año</b>	<b>Degradación</b>	<b>Producción fotovoltaica efectiva</b>	<b>Saldo (0,097 ctvs.)</b>
2021	100%	2116	205,25
2022	99.3 %	2101	203,80
2023	98.6 %	2086	202,34
2024	97,90%	2072	200,98
2025	97.2 %	2058	199,63
2026	96.5 %	2042	198,07
2027	95.8 %	2027	196,62
2028	95.1%	2012	195,16
2029	94.4 %	1998	193,81
2030	93.7 %	1983	192,35
2031	93.0 %	1968	190,90
2032	92.3 %	1953	189,44
2033	91.6 %	1938	187,99
2034	90.9 %	1923	186,53
2035	90.2 %	1909	185,17
2036	89.5 %	1894	183,72
2037	88.8 %	1879	182,26
2038	88.1 %	1864	180,81
2039	87.4 %	1849	179,35
2040	86.7 %	1834	177,90

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Para el flujo de caja y determinar si el proyecto es factible hay que considerar la inversión inicial del proyecto, la cual es de \$ **3007,02** dólares, los ingresos se toman de la Tabla 3.15, la tasa de descuento nominal para este tipo de proyectos es del 6% (Romero & Flores, 2019). En lo que respecta a los egresos al tratarse de un sistema pequeño con pocos componentes el mantenimiento (limpieza) es casi nulo y lo realizaría el propio usuario, se estima un egreso anual de \$ 10 dólares.

Entonces, aplicando la ecuación (13), se obtiene un VAN de:

TABLA 3. 15  
VALOR ACTUAL NETO

<b>Año</b>	<b>Inversión \$</b>	<b>Ingresos \$</b>	<b>Egresos \$</b>	<b>Flujo de Caja (I-E)</b>	<b>VAN (0,06) \$</b>
2020	-3007,02				-3007,02
2021		205,25	10	195,20	184,20

2022	203,80	10	193,80	172,49
2023	202,34	10	192,34	161,52
2024	200,98	10	190,98	151,24
2025	199,63	10	189,63	141,61
2026	198,07	10	188,07	132,58
2027	196,62	10	186,62	124,12
2028	195,16	10	185,16	116,19
2029	193,81	10	183,81	108,77
2030	192,35	10	182,35	101,81
2031	190,90	10	180,90	95,29
2032	189,44	10	179,44	89,18
2033	187,99	10	177,99	83,46
2034	186,53	10	176,53	78,10
2035	185,17	10	175,17	73,08
2036	183,72	10	173,72	68,38
2037	182,26	10	172,26	63,97
2038	180,81	10	170,81	59,85
2039	179,35	10	169,35	55,99
2040	177,90	10	167,90	52,37
VAN Total				-892,82

---

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Como resultado de la inversión para este proyecto se tiene un valor de VAN negativo de \$ 892,82 dólares, lo que indica que la instalación fotovoltaica no es rentable con esa tasa interna de retorno por lo que no es necesario comparar la TIR.

Se demuestra que técnicamente la instalación si es factible, pero al no haber un retorno de inversión el proyecto de investigación económicamente no es rentable.

A continuación, se plantean dos alternativas para realizar comparaciones de viabilidad: La una alternativa es la selección de 5 paneles solares de 335W estos van de acuerdo con la capacidad del consumo eléctrico facturado en el año 2019, la otra propuesta es sobredimensionando un poco el sistema a 8 paneles igual de 335 W.

Para la inversión inicial en estas nuevas propuestas las empresas distribuidoras de equipos renovables en nuestro país ofrecen en el mercado distintos kits que van de acuerdo con las necesidades del usuario.

La producción fotovoltaica mensual con estos nuevos paneles solares se indica en la Tabla 3.16.

TABLA 3. 16  
ENERGÍA FOTOVOLTAICA EFECTIVA CON 5 Y 8 PANELES DE 335W

MES	Radiación solar media	Radiación solar inclinada a 20° kWh/m²/día	Energía Fotovoltaica Efectiva (kWh)	
			5 paneles 335W	8 paneles 335W
Ene	3,96	4,12	213,83	342,13
Feb	4,09	4,09	191,73	306,77
Mar	4,35	4,13	214,35	342,96
Abr	4,17	3,67	184,33	294,93
May	3,91	3,25	168,68	269,88
Jun	3,8	3,08	154,70	247,52
Jul	4,03	3,34	173,35	277,36
Ago	4,05	3,56	184,77	295,63
Sep	3,88	3,69	185,34	296,54
Oct	3,86	3,90	202,41	323,86
Nov	3,74	3,93	197,39	315,82
Dic	3,69	3,91	202,93	324,69
<b>Total</b>			<b>2273,81 kWh</b>	<b>3638,09 kWh</b>

Fuente: Tabla realizada por el autor, el proceso matemático se adjunta en el Anexo F.

#### a) Análisis técnico – económico con 5 paneles de 335 W

La inversión inicial de este nuevo kit solar es de \$ 2196,50 dólares (Anexo G).

El valor actual neto para este caso es de: \$ 83,93

La tasa interna de retorno es: 0,45%

TABLA 3. 17  
VAN KIT SOLAR DE 5 PANELES DE 335W

Año	Inversión \$	Ingresos \$	Egresos \$	Flujo de Caja (I-E)	VAN (0,06) \$
2020	2196,50				-2196,50
2021		220,56	10	210,56	198,64
2022		219,02	10	209,02	186,02
2023		217,47	10	207,47	174,20
2024		215,93	10	205,93	163,11
2025		214,38	10	204,38	152,73
2026		212,84	10	202,84	142,99
2027		211,30	10	201,30	133,87



2028	209,75	10	199,75	125,33
2029	208,21	10	198,21	117,32
2030	206,66	10	196,66	109,82
2031	205,12	10	195,12	102,79
2032	203,58	10	193,58	96,20
2033	202,03	10	192,03	90,03
2034	200,49	10	190,49	84,25
2035	198,94	10	188,94	78,84
2036	197,40	10	187,40	73,77
2037	195,86	10	185,86	69,02
2038	194,31	10	184,31	64,57
2039	192,77	10	182,77	60,41
2040	191,23	10	181,23	56,51
			Van Total	83,93

Fuente: Tabla elaborada por el autor. El resultado de la tasa interna de retorno (TIR) es menor que la tasa de descuento por lo que se recomienda rechazar el proyecto ya que no está alcanzando la rentabilidad mínima de la inversión.

El comportamiento de la energía inyectada a la red vs la consumida de la red eléctrica se muestra en la Figura 49 (Anexo H).

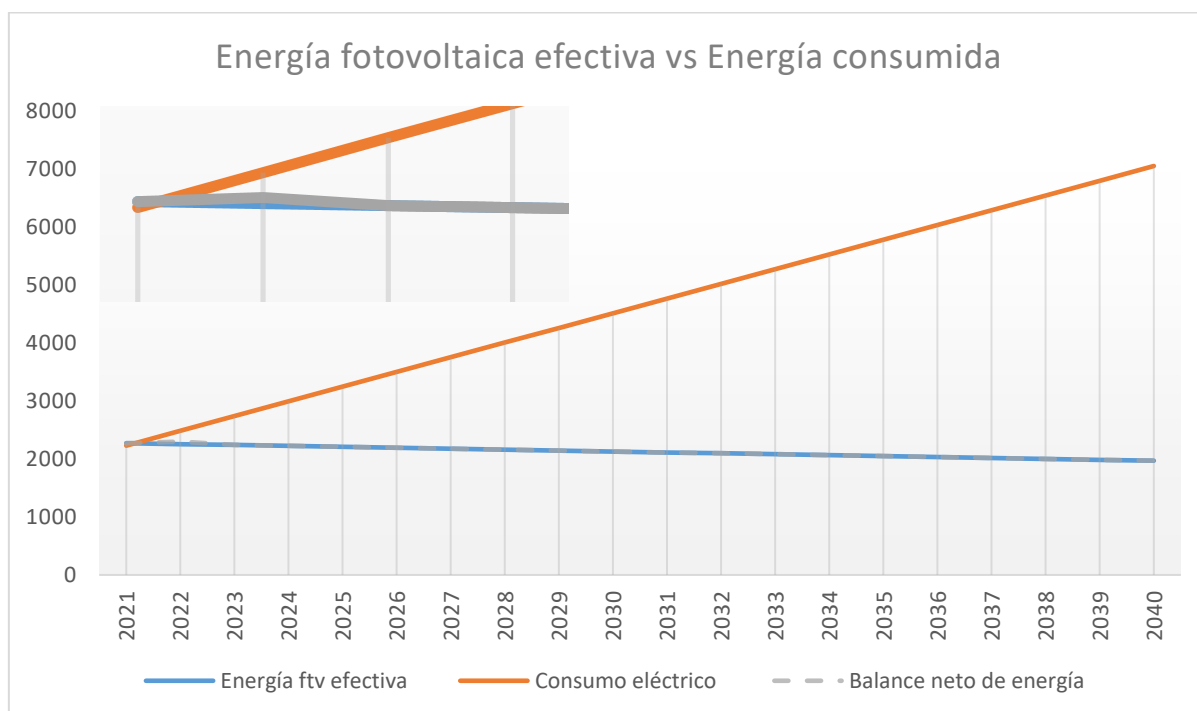


Fig. 49: Proyección de energía inyectada a la red vs la consumida

Fuente: Realizada por el autor

La producción fotovoltaica en el año 2021 es mayor a la del consumo, este excedente se lo incrementa a la producción del siguiente año 2022 de acuerdo con el balance neto que indica la regulación Nro. ARCONEL – 003/18.

#### **b) Análisis técnico – económico con 8 paneles de 335 W**

La inversión inicial de este nuevo kit solar es de \$ 3346,50 dólares (Anexo G).

El valor actual neto para este caso es de: \$ 370,90

La tasa interna de retorno es: 1,29%

TABLA 3. 18  
VAN KIT SOLAR DE 8 PANELES DE 335 W

<b>Año</b>	<b>Inversión</b> \$	<b>Ingresos</b> \$	<b>Egresos</b> \$	<b>Flujo de Caja (I-E)</b>	<b>VAN (0,06)</b> \$
2020	3346,50				-3346,50
2021		352,89	10	342,89	323,48
2022		350,42	10	340,42	302,97
2023		347,95	10	337,95	283,75
2024		345,48	10	335,48	265,73
2025		343,01	10	333,01	248,84
2026		340,53	10	330,53	233,01
2027		338,06	10	328,06	218,18
2028		335,59	10	325,59	204,28
2029		333,12	10	323,12	191,26
2030		330,65	10	320,65	179,05
2031		328,18	10	318,18	167,62
2032		325,71	10	315,71	156,90
2033		323,24	10	313,24	146,86
2034		320,77	10	310,77	137,46
2035		318,30	10	308,30	128,64
2036		315,83	10	305,83	120,39
2037		313,36	10	303,36	112,66
2038		310,89	10	300,89	105,42
2039		308,42	10	298,42	98,63
2040		305,95	10	295,95	92,28
VAN Total					370,90

Fuente: Tabla elaborada por el autor. El resultado de la tasa interna de retorno (TIR) es menor que la tasa de descuento por lo que se recomienda rechazar el proyecto pues se estima un rendimiento menor al mínimo requerido.

El comportamiento del sistema microfotovoltaico con 8 módulos solares de 335W se indica en la Figura 50.

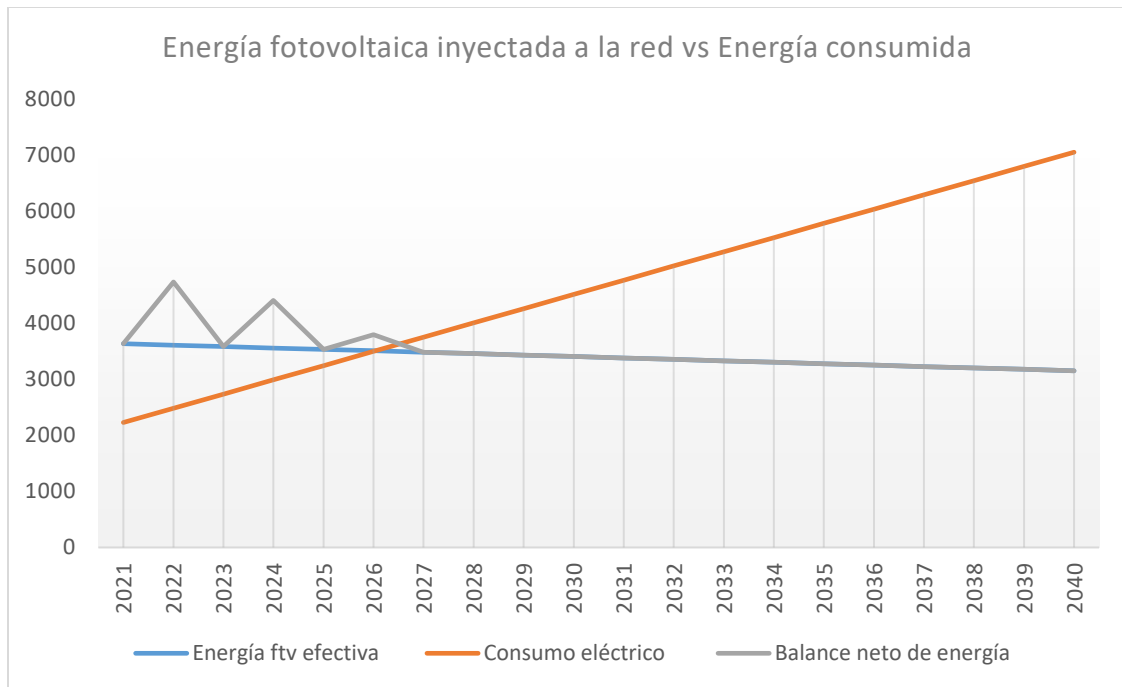


Fig. 50: Proyección de energía fotovoltaica inyectada a la red con 8 paneles de 335 W

Fuente: Propia

El resultado de la Figura 50 muestra que los años 2021, 2022, 2023, 2024, 2025 y 2026 el sistema fotovoltaico inyecta más energía a la red (línea azul) de la que se consume, este excedente de energía se lo contabiliza a los próximos años, pero de acuerdo con la regulación Nro. ARCONEL – 003/18 indica que de haber un excedente este se lo resetea cada dos años (línea gris) y el usuario no recibe ninguna compensación por este excedente (Anexo G).

La implementación del sistema fotovoltaico conectados a la red para el usuario de estudio resulta que su instalación técnicamente es viable ya que la vivienda presenta un consumo anual de 1723 kWh (año 2019) y el sistema de fotovoltaico promediado en las tres propuestas es de 1.5 kWp que permite una generación superior a los 2000 kWh al año lo que representa el 103% del consumo total de la vivienda de estudio, por el lado económico, analizando el retorno de la inversión de las tres propuestas planteadas se puede notar que en instalaciones fotovoltaicas donde los usuarios tengan un alto consumo de energía de la red el retorno de la inversión es más viable pues el ahorro por la generación solar para autoconsumo es mayor.

### 3.4 Simulaciones en HOMER Pro

Este software de simulación como ya se había descrito anteriormente en el capítulo 2, es muy utilizado por empresas que se dedican a este tipo de estudio, entonces, primeramente, hay que definir el lugar donde se realizara la instalación como se indica en la Figura 51.

Name:

Tesis\_microgeneracion\_lbarra

Author:

Geovanny Martinez

Description:

Ramon Alarcon 3-40, Ibarra, Ecuador ( 0°21.6'N , 78°7.4'W )

Resources

(UTC-05:00) Bogotá, Lima, Quito, ...

Fig. 51: Ingreso de datos (HomerPro)  
Fuente: Elaborado por el autor

Ya establecido el lugar de estudio se procede a diseñar el sistema fotovoltaico. En base al registro de consumo eléctrico del usuario por parte de la empresa distribuidora se procede a la configuración del sistema microfotovoltaico, entonces, de acuerdo con el historial del consumo eléctrico del usuario facturado en el año 2019, octubre fue el mes que más elevado (Anexo B), el consumo fue de 175 kWh, entonces dividiendo este consumo para el número de días del mes da una carga eléctrica de 5.64 kWh/d (Figura 52), previamente a este paso el programa ya contempla los datos de radiación solar local, recurso que son definidos por la estación meteorológica de la Nasa.

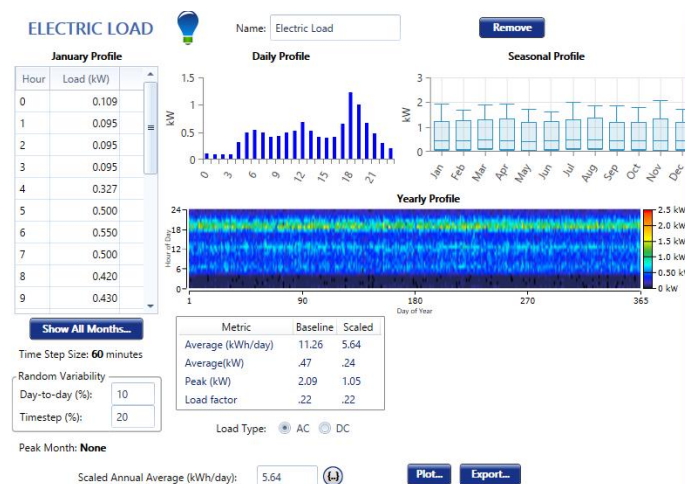


Fig. 52: Carga eléctrica (HomerPro)  
Fuente: Elaborado por el auto

Luego, de acuerdo con las condiciones de diseño calculadas anteriormente se modela el sistema fotovoltaico. La potencia fotovoltaica a instalarse con los 4 paneles de 390W es de 1.56 kW, siguiendo con el modelamiento en la Figura 53 se modifican las características del panel solar. En el ítem de capital se pone el costo total de la inversión.

PV

Name: 
Abbreviation: 

Remove  
Copy To Library

**Properties**  
Name: **Generic flat plate PV**  
Abbreviation: **PV 390**  
Panel Type: **Flat plate**  
Rated Capacity (kW): **1.560**  
Manufacturer: **Generic**  
[www.homerenergy.com](http://www.homerenergy.com)  
Notes:  
**This is a generic PV system.**

**Cost**  

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
<input type="text" value="1.5"/>	<input type="text" value="3,007.02"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>

Lifetime  
time (years):

**Sizing**  
☐ HOMER Optimizer™  
☒ Search Space

**Electrical Bus**  
☐ AC ☒ DC

**Site Specific Input**  
Derating Factor (%):

Fig. 53: Diseño del panel (HomerPro)  
Fuente: Elaborado por el autor

El esquema final de la instalación se muestra en la Figura 54.

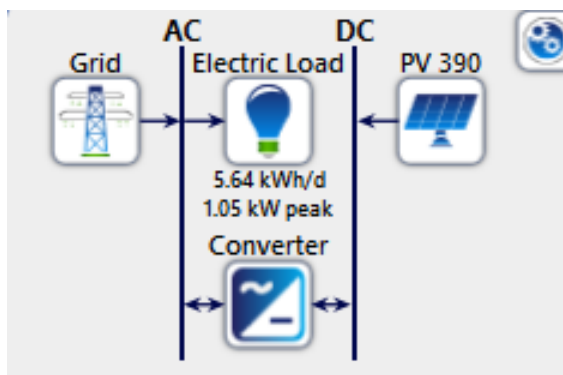


Fig. 54: Esquema final (HomerPro)  
Fuente: Elaborado por el autor

### 3.4.1 Resultados de la simulación

El funcionamiento de operación del sistema fotovoltaico se muestra en la Figura 55, esta indica las horas de consumo de red vs las horas que se inyecta a la red

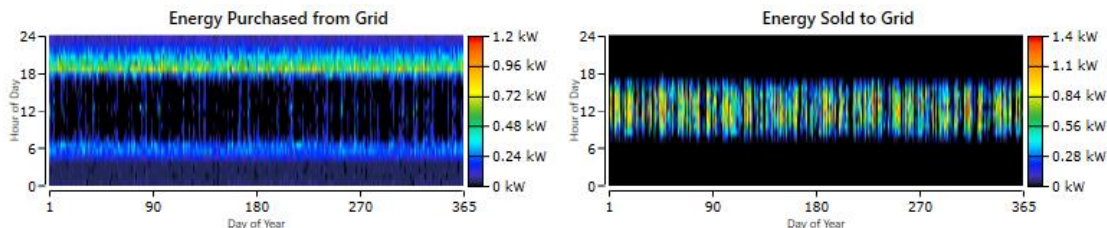


Fig. 55: Energía comprada a la red vs energía vendida (inyectada) a la red  
Fuente: Elaborado por el autor

La Figura 56 indica la producción total de energía renovable (línea roja) vs la carga eléctrica total (línea amarilla) en una escala por día en el año 2019, entonces, se puede mencionar que técnicamente si es factible la instalación de este equipo.

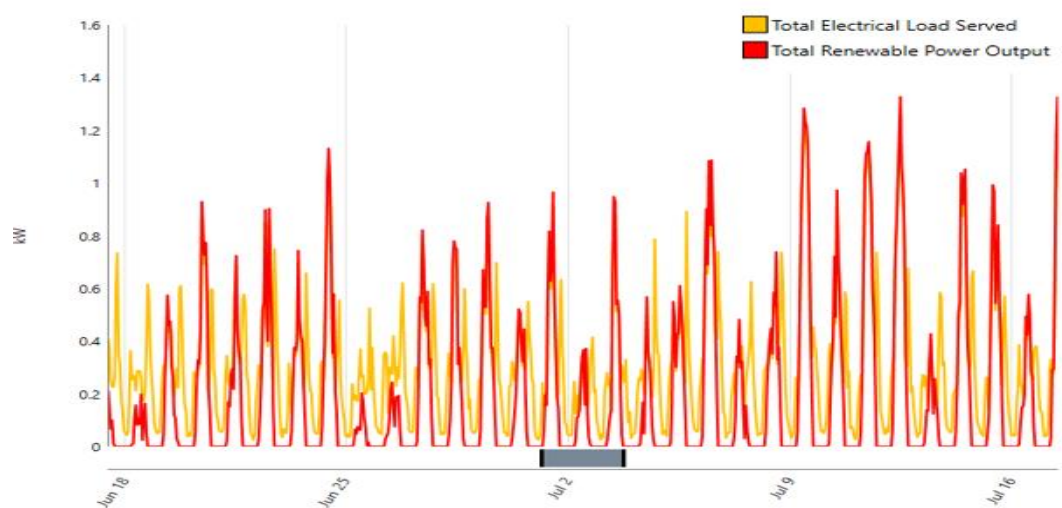


Fig. 56: Producción total de energía renovable (HomerPro)

Fuente: Elaborado por el autor

Anualmente la instalación fotovoltaica genera una producción de 2117 kWh/año, es decir, con lo que respecta al año 2019 la producción fotovoltaica representa el 103% del consumo de la red en ese año (Figura 57), estos resultados son similares a los que se obtuvieron en los cálculos que se indican en la Tabla 3.8.

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	1.56	kW
Mean Output	0.242	kW
Mean Output	5.80	kWh/d
Capacity Factor	15.5	%
Total Production	2,117	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	1.74	kW
PV Penetration	103	%
Hours of Operation	4,380	hrs/yr
Levelized Cost	0.198	\$/kWh

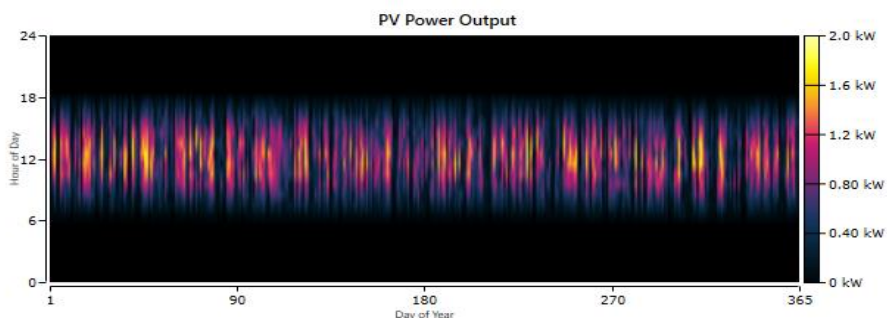


Fig. 57: Producción fotovoltaica anual (HomerPro)

Fuente: Elaborado por el autor

El resultado de esta simulación demuestra que el proyecto técnicamente su instalación es factible ya que las condiciones que presenta la zona (ciudad de Ibarra) existe una radiación solar apta para aprovecharla en esta tecnología, en este caso de estudio del usuario en lo que respecta al año 2019 la producción fotovoltaica representa una penetración fotovoltaica bastante provechosa, por otro lado debido a su inversión económica no existe una remuneración positiva para el usuario con la primera hipótesis planteada.

## Conclusiones

- Con el estudio bibliográfico realizado se logró conocer que producir energía eléctrica fotovoltaica sobre cubiertas residencias o edificaciones constituye una alternativa viable ya que el uso de energías renovables no contaminantes contribuye a la conservación del medio ambiente, por otro lado, también es conveniente destacar la participación de las entidades del gobierno ecuatoriano ya que las normativas vigentes incentivan para que se pueda acceder a este tipo de tecnologías (fotovoltaicas).
- De acuerdo con el estudio técnico, la instalación de sistemas de microgeneración fotovoltaicos residenciales en la ciudad de Ibarra son factibles ya que las condiciones climatológicas de la zona son favorables para la puesta en marcha de estos proyectos, claro está que es importante tener en cuenta el lugar donde se pretenda instalar este equipo, debido a que los paneles solares pierden su rendimiento de encontrarse en lugares con sombra y esto afectaría la producción fotovoltaica.
- El software HOMER Pro fue una herramienta muy útil para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, los resultados de la simulación muestran que la penetración fotovoltaica representa el 103% de acuerdo con el consumo eléctrico facturado en el año 2019 lo que indica que la producción fotovoltaica satisface de demanda eléctrica del usuario y a su vez existen pequeños excedentes de energía que pueden ser comercializados con la empresa eléctrica.
- Analizando que el tiempo en el que este proyecto se vuelve rentable es demasiado largo en relación con la inversión inicial hace que la rentabilidad de este proyecto no sea viable pues a mayor tiempo de recuperación de capital mayor es la incertidumbre. Sin embargo, desde el punto de vista de la comercialización de la energía inyectada a la red los resultados muestran que existe un ahorro económico del usuario por el pago del servicio eléctrico de acuerdo con la modalidad Net Metering de la regulación Nro. ARCONEL – 003/18.



## **Recomendaciones**

- Se recomienda analizar la regulación Nro. ARCONEL - 003/18 puesto que en las actuales condiciones la aplicación Net Metering (medición neta) resulta poco atractiva, pues de existir excedentes de energía fotovoltaica se resetea cada 2 años, se propone comercializar este excedente con el modelo Net Billing (facturación neta) y el pago por dicha energía sea con la misma tarifa del kWh residencial nacional.
- Se recomienda a futuras investigaciones realizar estudios en donde se establezca los dos métodos de comercialización de la energía inyectada a la red el Net Metering y el Net Billing en donde los usuarios tengan la posibilidad de elegir cual sistema de facturación resulte más factible en relación con la inversión que realizaran.
- Se recomienda a la empresa eléctrica EMELNORTE elaborar planes de capacitación o programas de difusión que incentiven a los ciudadanos de Ibarra a hacer uso de esta tecnología (microgeneración fotovoltaica) con el fin de concientizar a la comunidad sobre el uso de energías renovables amigables con el medio ambiente y a su vez fomentar el desarrollo y la diversificación de la matriz energética.

## Referencias

- Abella, M. A. (2014). *Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2019, de Sistemas fotovoltaicos: <http://www.ciemat.es/cargarGrupoInvestigacion.do?identificador=21&idArea=1&idLinea=0>
- Aguirre. (2018). *Análisis de la matriz energética ecuatoriana y plan de desarrollo energético sostenible para la ciudad de Machala (Tesis de pregrado)*. Valencia - España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Alquimodul. (2017). *Sistemas Fotovoltáicos*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2019, de <https://www.alquimodul-peru.com/energia-solar-fotovoltaiica/>
- Alvarez, G., & Vaca, H. (2014). *Diseño e implementación de una microred híbrida a base de energía fotovoltaica y energía térmica diésel en la empresa Trace OildField Services Cia. Ltda. Para reducir la contaminación ambiental*. Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de eléctrica y electrónica, Latacunga. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9067>
- ARCONEL. (22 de Octubre de 2018). Obtenido de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/>
- Atlas Solar Global. (10 de Octubre de 2019). *globalsolaratlas*. Obtenido de [globalsolaratlas.info/map?c=0.35877,-78.121719,11&m=site&s=0.359113,-78.122256&pv=small,180,2,1](https://globalsolaratlas.info/map?c=0.35877,-78.121719,11&m=site&s=0.359113,-78.122256&pv=small,180,2,1)
- Barón Ortiz, J. (2015). *Diseño y simulación de una instalación fotovoltaica de autoconsumo*. Tesis de grado, Universidad Piloto de Colombia, Facultad de ingeniería mecatrónica, Bogotá. Recuperado el 10 de Marzo de 2020, de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/1062>
- BBC. (25 de Febrero de 2019). *Acerca de nosotros: La British Broadcasting Corporation*. Obtenido de [www.bbc.co.uk/terms](http://www.bbc.co.uk/terms): <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-47144338>
- Calefacción Solar. (s.f). © *Calefacción Solar y Energías Renovables*. Obtenido de <http://calefaccion-solar.com/beneficios-de-un-medidor-bidireccional.html>
- Cárdenas Calle, M. (2019). *Estudio técnico económico de la energía solar fotovoltaica y mini eólica a pequeña escala*. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Facultad de

- ingeniería, Cuenca. Recuperado el 25 de Septiembre de 2019, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32326>
- CELEC EP. (2017). *Central Eólica Villonaco*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2020, de <https://www.celec.gob.ec/gensur/index.php/cev/central-eolica-villonaco-en-cifras>
- CENACE. (s.f.).
- Chint Power System. (28 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://chintpowerlatinoamerica.com/blog/energia-solar/la-radiacion-solar-la-energia-del-sol/>
- Conciencia Eco. (24 de Enero de 2010). *Microgeneracion* . Obtenido de Creative Commons: <https://www.concienciaeco.com/2010/01/24/microcogeneracion/>
- CONELEC. (2008). *Atlas solar en Ecuador con fines de generacion eléctrica* . Quito: Corporación para la Investigación Energética.
- CST. (2017). *Paneles Solares Fotovoltaico*. Obtenido de CST Corporation Web site: <http://www.cst.com.uy>
- Damacela & Guamangate. (2018). *Diseño e implementación de un módulo didáctico de microgeneración distribuida para análisis de fiabilidad y sustentabilidad en el suministro de energía eléctrica en el laboratorio de accionamientos eléctricos*. Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de eléctrica y electrónica, Latacunga. Recuperado el 20 de Septiembre de 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14697>
- Erazo Bruno. (2017). *Diseño eléctrico de una vivienda con paneles solares utilizando microinversores, conectados a la red mediante un medidor bidireccional*. Tesis de grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de educación técnica para el desarrollo, Guayaquil. Recuperado el 12 de Septiembre de 2019, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/9106>
- Erazo C. (14 de Febrero de 2018). Aprovechamiento de energías renovables en el Ecuador. *El Comercio*, págs. Actualidad, pág. Economía.
- Erenovable. (28 de Marzo de 2020). Obtenido de <https://erenovable.com/energia-solar-ventajas-y-desventajas/>
- GAD-Ibarra. (2019). *Gobierno Autónomo Descentralizado de Ibarra* . Obtenido de <https://www.ibarra.gob.ec/site/geoportal/#>

- Galicia, X. d. (12 de Mayo de 2014). *Elementos de proteccion*. Obtenido de <https://www.edu.xunta.gal.com>
- Garcia & Gómez. (2013). Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia. *FEDESARROLLO*, 45-86. Recuperado el 2 de Septiembre de 2019, de <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/331>
- Garzón. (2015). *Evaluación de alternativas de generación de electricidad desde el punto de vista de su impacto ambiental, para sectores no conectados a redes eléctricas*. Tesis pregrado, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Ciudad de la Habana. Recuperado el 2 de Septiembre de 2019, de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1293/1/T-UTC-2043.pdf>
- Gonzáles, F. C. (2008). *Estudio de factibilidad del uso de microgeneracion en base a energías renovables en redes de baja tensión (Tesis de pregrado)*. Santiago de Chile-Chile: Universidad de Chile.
- González Martínez, P. (2016). *Evaluación de pérdidas de energía en la operación de plantas fotovoltaicas*. Universidad de Sevilla, Departamento de ingeniería energética, Sevilla. Recuperado el 10 de Diciembre de 2019, de [https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/42640/TFG-Pablo%20Gonz%C3%83%C2%A1lez\\_DEF.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/42640/TFG-Pablo%20Gonz%C3%83%C2%A1lez_DEF.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Guamán Sanchez, C. (2017). *Diseño de una microrred basada en renovables para suministrar electricidad a un área de conseción de la empresa eléctrica regional centro sur*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia , Valencia. Recuperado el 16 de Junio de 2020, de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83964/P030153316\\_TFM\\_14867660672271275997430684805011.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83964/P030153316_TFM_14867660672271275997430684805011.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Harper, E. (2012). *El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos*. Mexico : Limusa.
- IBARRA ES TURISMO. (27 de Febrero de 2018). *ibarraesturismo*. Obtenido de ibarraesturismo: <https://ibarraesturismo.wordpress.com/mapas-2/>
- ITC. (2015). *Energías Renovables y Eficiencia Energética*. Canarias - España: InstitutoTecnológico de Canarias, S.A.

- Letona. (2014). *Proyecto de generación de energía eléctrica e inyección hacia la red distribidora de energía eléctrica proveniente de módulos fotovoltaicos*. Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ingeniería, Guatemala de la Asunción. Recuperado el 5 de Septiembre de 2019, de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2014/02/02/Letona-Mario.pdf>
- López Barboza, J. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico para autoconsumo conectado a red en la empresa VIETTEL PERÚ S.A.C bicado en Trujillo-La Libertad*. Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de ingeniería mecánica y eléctrica, Lambayeque. Recuperado el 25 de Marzo de 2020, de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/5494>
- Mantilla , C., & Toro , J. (2017). *Diseño e implementación de un colector cilindrico parabolico con seguimiento solar para obtener agua caliente*. Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de eléctrica y electrónica, Latacunga. Recuperado el 20 de Septiembre de 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13288>
- Martínez Mendoza, E. (2006). Energías renovables en Mexico dentro del marco de APEC: Estado actual y perspectivas; formación de recursos humanos. *Estudios Internacionales (Chile)*.
- Mora Trujillo, G. (2017). *Elaboración del atlas solar de la cuenca del río ambi con fines energéticos, mediante la evaluación de variables atmosféricas con aplicación de sistemas de información geográfica (tesis post grado )*. Ibarra - Ecuador: Universidad Técnica del Norte. Recuperado el 25 de Octubre de 2019, de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7531>
- Muñoz Vizhñay, J. P., Rojas Moncayo, M. V., & Barreto Calle, C. R. (2018). Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 60-68. Recuperado el 2 de Octubre de 2019, de Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-860X2018000100060#:~:text=El%20costo%20de%20la%20energ%C3%ADa,contempla n%20el%20banco%20de%20bater%C3%ADas](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-860X2018000100060#:~:text=El%20costo%20de%20la%20energ%C3%ADa,contempla n%20el%20banco%20de%20bater%C3%ADas)
- Naciones Unidas. (2018). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Nueva York: Naciones Unidas. Obtenido de <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2018/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2018-ES.pdf>

- Neira & Velecela. (2014). *Estudio de factibilidad de generación eléctrica mediante energía eólica y energía solar fotovoltaica para el sector de Garauzhi de la parroquia Quingeo perteneciente a la ciudad de Cuenca*. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Recuperado el 16 de Enero de 2020, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6756>
- Neira Campoverde, J. (2012). *Generación fotovoltaica a gran escala para Morona Santiago*. Tesis doctoral, Universidad de Cuenca, Cuenca. Recuperado el 5 de Noviembre de 2019, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2571>
- OCARPIGINA. (19 de Abril de 2019). Obtenido de <https://ocarpigina.blogia.com/2008/041902-cadenas-productivas-electricidad.php>
- Ortega Hidalgo , O. (2013). *Procedimiento técnico para la implementación de microcentrales eléctricas utilizando paneles fotovoltaicos*. Tesis de grado, Quito. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6348>
- Parrales, Vallejo & Montealegre. (2015). *Dimensionamiento de una instalación fotovoltaica de generación distribuida conectada a red para autoconsumo en un edificio de la administración pública en la provincia del Guayas y análisis de viabilidad técnica y económica*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/31129/1/Dimensionamiento%20de%20una%20instalaci%C3%B3n%20fotovoltaica%20de%20generaci%C3%B3n%20distribuida%20conectada%20a%20red%20para%20autoconsumo%20en%20un%20edificio%20de%20la%20administraci%C3%B3n>
- Pereda, I. (2005). *"Celdas Fotovoltaicas en Generación Distribuida", Memoria de Título.*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Pertini, I., & Denegri, J. (2014). *Investigación y estudio ambiental , económico y social de la microgeneracion en sierra de los padres*. Tesis, Universidad FASTA, Ingeniería ambiental, Buenos Aires. Recuperado el Septiembre de 10 de 2019, de <http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/857/Proyecto%20Final%20Microaerogeneraci%C3%B3n.pdf?sequence=1>
- PNUD. (2015). *"Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible"*. Nueva York: NY 10017.

- Proviento. (2019). © 2020. *PROVIENTO SA All rights reserved*. Obtenido de ProViento S.A.: <https://proviento.com.ec/paneles-solares/28-panel-solar-175wp-12vdc-monocristalino-36-celulas.html>
- Renova Energy. (13 de Diciembre de 2019). Cotización. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Rodas & Arévalo. (2016). *Dimensionamiento de una instalación fotovoltaica de generación distribuida conectada a la red, para autoconsumo en un taller industrial en Guayaquil*. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de ingeniería en electricidad y computación, Guayaquil. Recuperado el 10 de Enero de 2020, de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/37269>
- Roldan, F. (2013). *El impacto social, económico y ambiental de la energía solar renovable dentro del ecuador y se matriz energética*. Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito, Quito. Recuperado el 20 de Enero de 2020, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3035>
- Romero, J., & Flores, J. (2019). *Estudio e implementación de un sistema de micro generación solar fotovoltaico para autoconsumo (caso de estudio considerando la regulación Nro. ARCONEL - 003/18)*. Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Facultad de ingeniería, Cuenca. Recuperado el 15 de Abril de 2020, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33564/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Schallenberg, et al. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética* (Vol. I). Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. Obtenido de <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>
- SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. Quito-Ecuador.
- Sol Energy. (2019). *Sol Energy*. Obtenido de <https://solshop.solenergy.mx/interconectados/123-273-inversor-fronius-symo-100-1-a-1501.html>
- Torino, M. (14 de Septiembre de 2017). *Acerca de nosotros: Aconcagua.lat*. Recuperado el 15 de Enero de 2020, de <https://aconcagua.lat/cambiar/microgeneracion-avanza-la-ley-permitira-producir-vender-energias-renovables-casas/>

- Twenergy. (18 de Octubre de 2019). *Acerca de nosotros: Endesa Energía y VDSHOP*. Obtenido de <https://twenergy.com/energia/energia-geotermica/que-es-la-energia-geotermica-que-aplicaciones-tiene-108/>
- Velasco, J. (2009). *Energías Renovables*. Barcelona - España: Editorial Reverté. Obtenido de [https://www.reverte.com/libro/energias-renovables\\_89320/](https://www.reverte.com/libro/energias-renovables_89320/)
- Vinueza, A. (2015). *Análisis económico del cambio de la matriz energética y su incidencia en la economía ecuatoriana, enfocado en la matriz productiva y en el plan nacional del buen vivir 2009-2013 (Tesis de pregrado)*. Quito - Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- www.undp.org. (s.f.). *www.undp.org*. Obtenido de *www.undp.org*.: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>
- Xiaodong Liang, S. M. (2017). Emerging Power Quality Challenges Due to. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS*, VOL.53.
- Yablonovsky, E. (Agosto de 2020). Generación distribuida, una puerta y ventana para los profesionales de automatización y control. *Revista Ingeniería Eléctrica*(9). Recuperado el 16 de Enero de 2020, de [https://www.editores-srl.com.ar/revistas/aa/9/yablonovsky\\_generacion\\_distribuida](https://www.editores-srl.com.ar/revistas/aa/9/yablonovsky_generacion_distribuida)



## Anexo A: Licencia HOMER Pro

Ha agregado una licencia HOMER Pro.

✕



**HOMER**  
Energy  
by UL

### Factura / Presupuesto

No de pedido: 33562

Fecha de factura: 07 de mayo  
de 2020

Make Payments To: HOMER Energy  
1790 30th Street, Suite 100  
Boulder, CO 80301 USA  
+1-720-565-4046

**Bill To:**  
Geovanny Martínez  
Universidad Técnica del Norte  
Ibarra  
Ibarra, Imbabura Ecuador  
100112

Quantity	Description	Amount
1	HOMER Pro Student monthly license	\$10.00
Total:		\$10.00

All prices are in US Dollars. Prices do not include Tax/VAT. Taxes are the responsibility of the customer.

**Payments/Credits:** \$0.00

**Balance Due:** \$10.00

**HOMER Energy, LLC**

1790 30th St  
Suite 100  
Boulder, CO 80301  
United States  
Phone: (720) 565-4046  
Email: bookkeeper@homerenergy.com

**Invoice**

Invoice # 9742  
Billed On Nov 18, 2019  
Terms On-Receipt  
Due On Nov 18, 2019

**Bill To****Geovanny Martinez**

Ibarra  
Ibarra, Imbabura 100112  
Ecuador

**PAID**

on Nov 18, 2019

**\$10.00** USD

Date	Description	Qty	Price	Subtotal
Nov 18 - Dec 18, 2019	Monthly license subscription	1	\$10.00	\$10.00

Subtotal \$10.00

**Total \$10.00**

Paid (\$10.00)

**Amount Due \$0.00****Payments**

Nov 18, 2019 \$10.00 Payment from MasterCard --- 7329

**Notes**

*Subscriptions invoiced: (1) HOMER Pro Student monthly license (Order 31747)*

All amounts in United States Dollars (USD)

Terms and Conditions: All prices are in US Dollars. Prices do not include Tax/VAT. Taxes are the responsibility of the customer.

**HOMER Energy, LLC**

1790 30th St  
Suite 100  
Boulder, CO 80301  
United States  
Phone: (720) 565-4046  
Email: bookkeeper@homerenergy.com

**Invoice**

Invoice #	10095
Billed On	Dec 18, 2019
Terms	On-Receipt
Due On	Dec 18, 2019

**Bill To****Geovanny Martínez**

Ibarra  
Ibarra, Imbabura 100112  
Ecuador

**PAID**

on Dec 18, 2019

**\$10.00** USD

Date	Description	Qty	Price	Subtotal
Dec 18, 2019 – Jan 18, 2020	Monthly license subscription	1	\$10.00	\$10.00

Subtotal \$10.00

**Total \$10.00**

Paid (\$10.00)

**Amount Due \$0.00****Payments**

Dec 18, 2019 \$10.00 Payment from MasterCard --- 7329

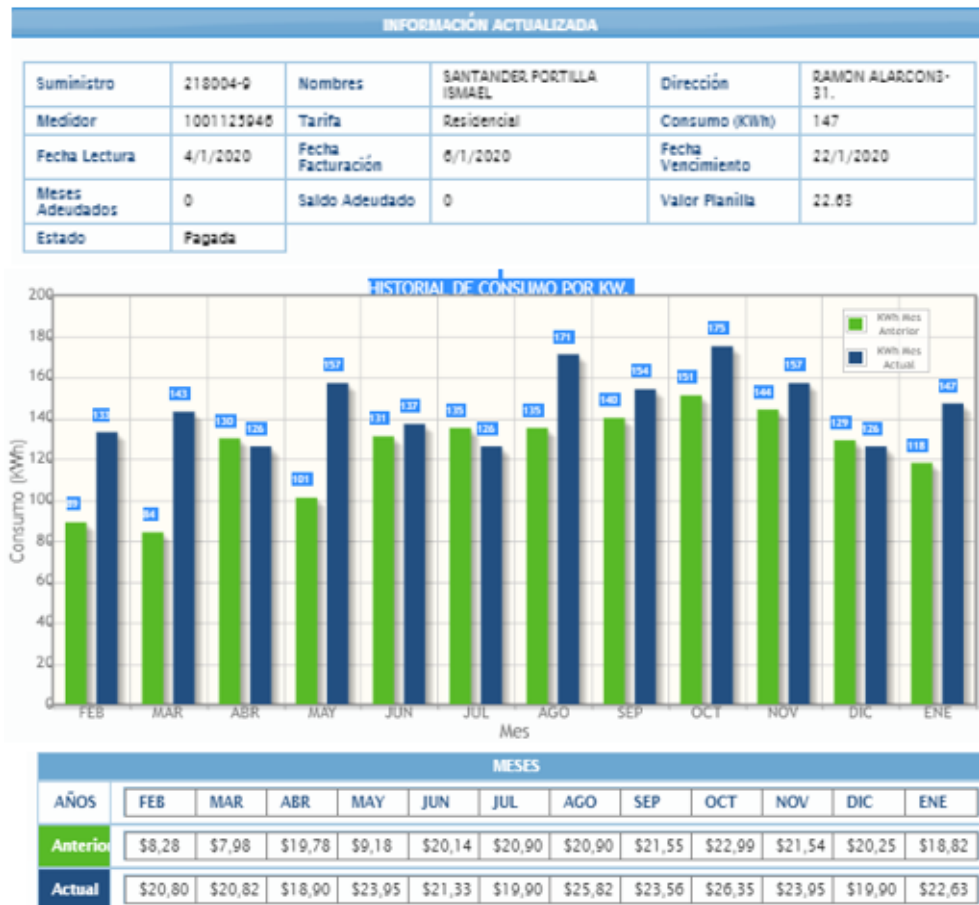
**Notes**

*Subscriptions invoiced: (1) HOMER Pro Student monthly license (Order 31747)*

All amounts in United States Dollars (USD)

Terms and Conditions: All prices are in US Dollars. Prices do not include Tax/VAT. Taxes are the responsibility of the customer.

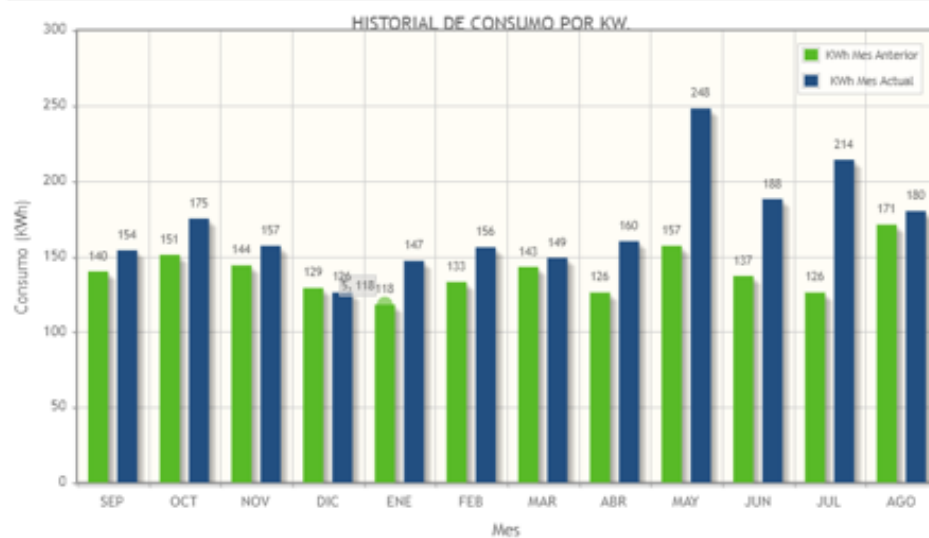
## Anexo B: Facturación del historial de consumo eléctrico



## CONSULTA DE CONSUMOS DE ENERGÍA - EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE

## INFORMACIÓN DEL SUMINISTRO

Suministro	218004-9	Nombres	SANTANDER PORTILLA ISMAEL	Dirección	RAMON ALARCON3-31.
Medidor	1001125946	Tarifa	Residencial	Consumo (KWh)	180
Fecha Lectura	6/8/2020	Fecha Facturación	8/8/2020	Fecha Vencimiento	25/8/2020
Meses Adeudados	0	Saldo Pendiente	\$ 0	Estado	Pagada



## HISTORIAL DE PAGOS POR CONSUMO.

MESES												
AÑOS	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Anterior	\$21.55	\$22.99	\$21.54	\$20.25	\$18.82	\$20.80	\$20.82	\$18.90	\$23.95	\$21.33	\$19.90	\$25.82
Actual	\$23.56	\$26.35	\$23.95	\$19.90	\$22.63	\$23.85	\$22.92	\$24.38	\$36.21	\$28.03	\$31.50	\$26.96

## Anexo C: Cotización de equipos



## Cotización

<b>Fecha:</b> 23/12/2019 12:12:09  <b>RENOVAENERGIA S.A.</b> <b>RUC:</b> 1792187567001 Pasaje S. Melo OE1-37 y Av. Galo Plaza Lazo Quito - Ecuador Tlf: (593 2) 2403643 Ext. 101 y 102 Celulares: 0987000710, 0987593688 Email: info@renova-energia.com www.renova-energia.com	<b>Proforma:</b> RNV-OF-UIO-11516-23122019  <b>Cliente:</b> <b>Ruc:</b> <b>Dirección:</b> <b>Email:</b> gamartinez@utn.edu.ec <b>Teléfono:</b> <b>Celular:</b>
---	---

### Oferta Económica

Equipo	Código y Modelo	Cantidad	P.Unitario	P. Con Iva	Subtotal	Total (+IVA)
Paneles	MD094 - JINKO SOLAR JKM280PP-60, 280Wp 24Vdc nominal 24 V 280 W	1.00	\$207.07	\$207.07	\$207.07	\$207.07
Paneles	MD086 - JINKO SOLAR JKM335PP-72 335Wp 24 V 335 W	1.00	\$247.98	\$247.98	\$247.98	\$247.98
Paneles	MD092 - JINKO SOLAR Cheetah HC JKM390M-72H-V, 0, 390Wp 24 V 390 W	1.00	\$288.70	\$288.70	\$288.70	\$288.70
Inversores Red	IR016 - Fronius Primo 5.0-1 208-240 WLAN/LAN/Webserver 4,210,063,800 0 0	1.00	\$2012.85	\$2254.39	\$2012.85	\$2254.39
<b>Son:</b> DOS MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y OCHO DOLARES 14/100				<b>Totales</b>	\$2756.60	\$2998.14

### Entregas

IR016 - Entrega 1 día calendario o inmediata, contados a partir de la aceptación de la propuesta y sus condiciones.  
MD092 - Entrega XX días calendario contados a partir de la aceptación de la propuesta y sus condiciones.  
MD086 - Entrega XX días calendario contados a partir de la aceptación de la propuesta y sus condiciones.  
MD094 - Entrega XX días calendario contados a partir de la aceptación de la propuesta y sus condiciones.

### Garantías

IR016 - Garantía de 2 años contra defectos de fabricación, si hay registro aumenta a 5 años y una expectativa de vida útil de 20 años.  
MD092 - Garantía de 10 años contra defectos de fabricación y una expectativa de vida útil que garantiza una potencia no menor al 80.7 % de su valor nominal a los 25 años.  
MD086 - Garantía de 5 años contra defectos de fabricación y una expectativa de vida útil que garantiza una potencia no menor al 80% de su valor nominal a los 25 años.  
MD094 - Garantía de 5 años contra defectos de fabricación y una expectativa de vida útil que garantiza una potencia no menor al 80% de su valor nominal a los 25 años.

### Observaciones

Atentamente,  
Yoleysi Fernandez

## Cheetah HC 72M-V 390-410 Watt

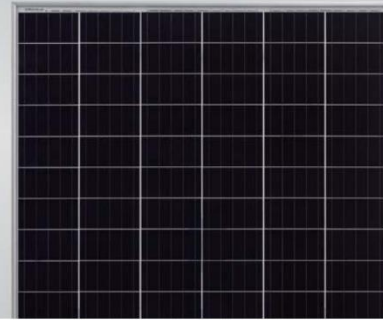
MONO PERC HALF CELL MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

- Half Cell
- Mono PERC 72 Cell



PERC



### KEY FEATURES



#### 5 Busbar Solar Cell

5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.



#### High Voltage

UL and IEC 1500V certified; lowers BOS costs and yields better LCOE



#### High Efficiency

Higher module conversion efficiency (up to 20.38%) benefit from half cell structure (low resistance characteristic).



#### PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee limited power degradation for mass production.



#### Low-light Performance

Advanced glass and cell surface texture design ensure excellent performance in low-light environment.



#### Severe Weather Resilience

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).



#### Durability Against Extreme Environmental Conditions

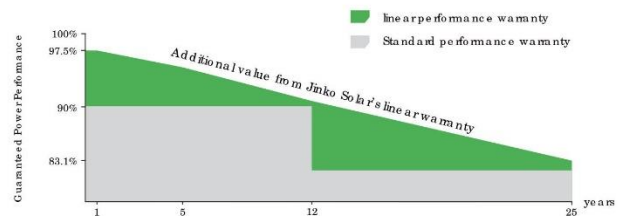
High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

### LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

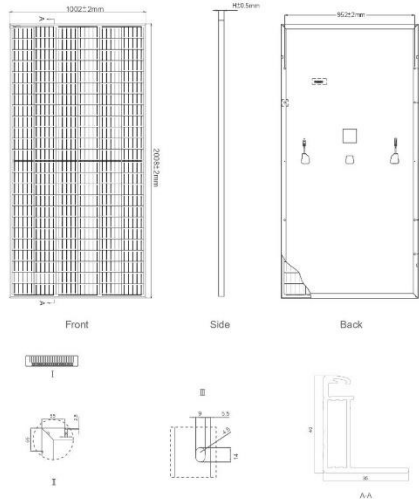
12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



- ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001 certified factory
- IEC61215, IEC61730, UL1703 certified product



## Engineering Drawings

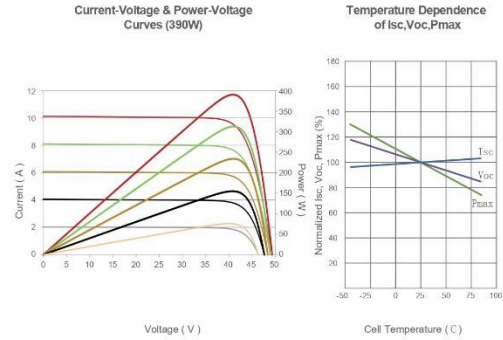


## Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

27pcs/pallet, 54pcs/stack, 594pcs/40'HQ Container

## Electrical Performance & Temperature Dependence



## Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono PERC 158.75×158.75mm
No. of Half-cells	144 (6×24)
Dimensions	2008×1002×40mm (79.06×39.45×1.57 inch)
Weight	22.5 kg (49.6 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm², Anode 290mm, Cathode 145mm or Customized Length

## SPECIFICATIONS

Module Type	JKM390M-72H-V		JKM395M-72H-V		JKM400M-72H-V		JKM405M-72H-V		JKM410M-72H-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	390Wp	294Wp	395Wp	298Wp	400Wp	302Wp	405Wp	306Wp	410Wp	310Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.1V	39.1V	41.4V	39.3V	41.7V	39.6V	42.0V	39.8V	42.3V	40.0V
Maximum Power Current (Imp)	9.49A	7.54A	9.55A	7.60A	9.60A	7.66A	9.65A	7.72A	9.69A	7.76A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.3V	48.0V	49.5V	48.2V	49.8V	48.5V	50.1V	48.7V	50.4V	48.9V
Short-circuit Current (Isc)	10.12A	8.02A	10.23A	8.09A	10.36A	8.16A	10.48A	8.22A	10.60A	8.26A
Module Efficiency STC (%)	19.38%		19.63%		19.88%		20.13%		20.38%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum System Voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.36%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📱 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📱 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌬 Wind Speed 1m/s

\* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JKM390-410M-72H-V-A2-EN



## Eagle 72 315-335 Vatios

MÓDULO POLICRISTALINO

Tolerancia positiva 0~+3%

Fábrica con certificación ISO9001:2008,  
ISO14001:2004, OHSAS18001  
Productos con certificación IEC61215, IEC61730



(4BB)



### Principales características



#### Célula solar 4 bus bar:

La célula solar 4 bus bar adopta una nueva tecnología para mejorar la eficiencia de los módulos, ofrece un mejor aspecto estético, lo que es perfecto para su instalación en los tejados.



#### Potencia Elevada:

Los módulos de 72 células policristalinos alcanzan potencias de hasta 335Wp.



#### Garantía Anti-Degradación Potencial Inducida (PID):

Limited power degradation of Eagle module caused by PID effect is guaranteed under strict testing condition (85°C/85%RH, 96 hours) for mass production.



#### Rendimiento con baja irradiación lumínica:

El avanzado cristal y el texturizado de la superficie de la célula fotovoltaica permiten un resultado excelente en condiciones de baja irradiación lumínica.



#### Resistencia en condiciones climatológicas adversas:

Certificado para soportar rachas de viento (2,400 Pascal) y cargas de nieve (5,400 Pascal).



#### Resistencia en condiciones ambientales extremas:

Alta resistencia a la brisa marina y al amoníaco, certificado por TÜV NORD.

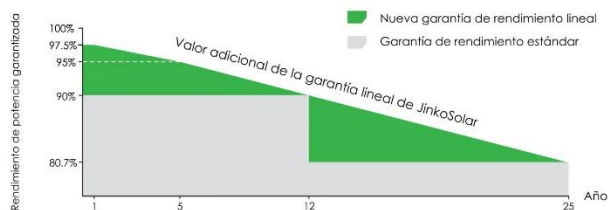


#### Coefficiente de Temperatura:

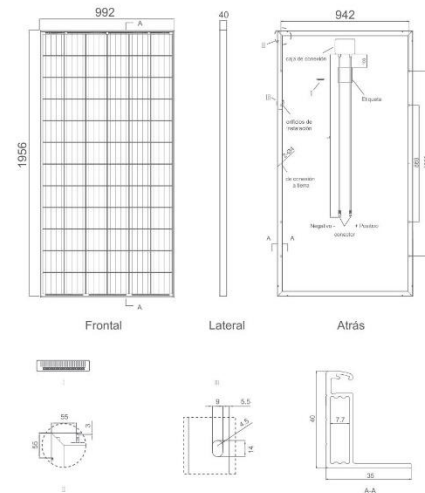
El coeficiente de temperatura mejorado reduce la pérdida de potencia en altas temperaturas.

### GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL

10 Años de garantía de producto • 25 Años de garantía de potencia lineal



## Dibujos técnicos



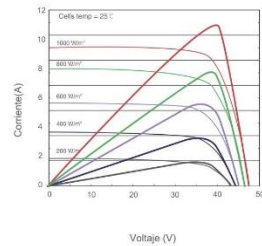
## Embalaje

(Dos cajas = un palet)

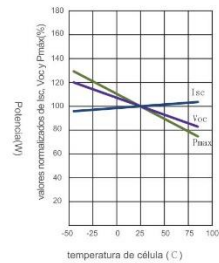
26 pzs./caja, 52 pzs./caja, 624 pzs./40'HQ contenedores

## Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura

Curvas de Intensidad-Tensión y potencia-tensión (315W)



Coefficiente de temperatura según Isc, Voc y Pmax



## Características mecánicas

Tipo de célula	Policristalina 156x156 mm (6 pulgadas)
Nº de células	72 (6x12)
Dimensiones	1956x992x40mm (77,01x39,05x1,57 pulgadas)
Peso	26,5 kg (58,4 libras.)
Vidrio frontal	4,0mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TÜV 1x4,0 mm <sup>2</sup> , longitud:900 mm o Longitud personalizada

## ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM315PP-72		JKM320PP-72		JKM325PP-72		JKM330PP-72		JKM335PP-72	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia nominal (Pmáx)	315Wp	235Wp	320Wp	238Wp	325Wp	242Wp	330Wp	246Wp	335Wp	250Wp
Tensión en el punto Pmáx-VMPP (V)	37.2V	34.3V	37.4V	34.7V	37.6V	35.0V	37.8V	35.3V	38.0V	35.6V
Corriente en el punto Pmáx-IMPP (A)	8.48A	6.84A	8.56A	6.86A	8.66A	6.91A	8.74A	6.97A	8.82A	7.02A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	46.2V	43.2V	46.4V	43.7V	46.7V	44.0V	46.9V	44.2V	47.2V	44.4V
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	9.01A	7.29A	9.05A	7.30A	9.10A	7.34A	9.14A	7.38A	9.18A	7.43A
Eficiencia del módulo (%)	16.23%		16.49%		16.75%		17.01%		17.26%	
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C									
Tensión máxima del sistema	1000V/DC (IEC)									
VALORES máximos recomendados de los fusibles					15A					
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%									
Coefficiente de temperatura de PMAX	-0.40%/°C									
Coefficiente de temperatura de VOC	-0.30%/°C									
Coefficiente de temperatura de ISC	0.06%/°C									
TEMPERATURA operacional nominal de célula	45±2°C									

STC: Radiación 1000 W/m<sup>2</sup> Célula módulo 25°C AM=1.5

NOCT: Radiación 800 W/m<sup>2</sup> Ambiente módulo 20°C AM=1.5 Velocidad del viento 1m/s

\* TOLERANCIA de medición de potencia: ± 3%

La empresa se reserva el derecho final de explicación de toda la información presentada por este medio. SP-JKM-335PP-72\_1.0\_rev2017

## Eagle 60P 265-285 Watt POLY CRYSTALLINE MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001  
certified factory.  
IEC61215, IEC61730 certified products.



(5BB)



### KEY FEATURES



#### 5 Busbar Solar Cell:

5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.



#### High Power Output:

Poly-crystalline 60-cell module achieves a power output up to 285Wp.



#### PID RESISTANT

Eagle modules pass PID test, limited power degradation by PID test is guaranteed for mass production.



#### Low-light Performance:

Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.



#### Severe Weather Resilience:

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).



#### Durability against extreme environmental conditions:

High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

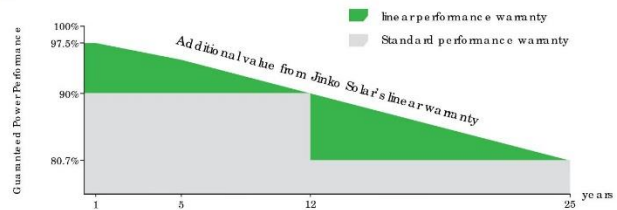


#### Temperature Coefficient:

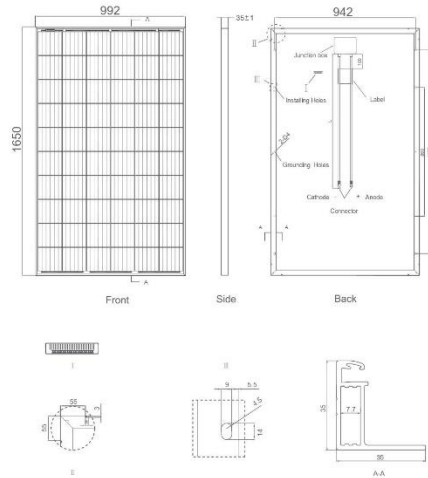
Improved temperature coefficient decreases power loss during high temperatures.

### LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



## Engineering Drawings

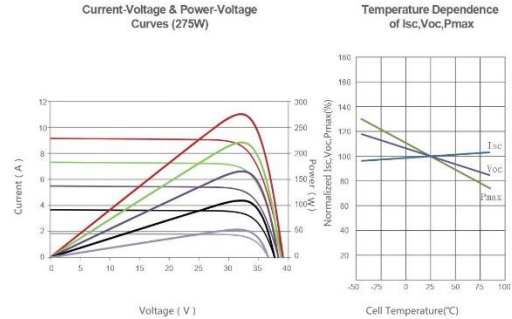


## Packaging Configuration

( Two pallets=One stack )

30pcs/pallet, 60pcs/stack, 840 pcs/40'HQ Container

## Electrical Performance & Temperature Dependence



## Mechanical Characteristics

Cell Type	Poly-crystalline 156×156mm (6 inch)
No. of cells	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×35mm (65.00×39.05×1.37 inch)
Weight	19.0 kg (41.9 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm <sup>2</sup> , Length: 900mm or Customized Length

## SPECIFICATIONS

Module Type	JKM265PP-60		JKM270PP-60		JKM275PP-60		JKM280PP-60		JKM285PP-60	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	265Wp	197Wp	270Wp	200Wp	275Wp	204Wp	280Wp	208Wp	285Wp	212Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	31.4V	29.0V	31.7V	29.4V	32.0V	29.8V	32.3V	30.1V	32.5V	30.4V
Maximum Power Current (Imp)	8.44A	6.78A	8.52A	6.80A	8.61A	6.85A	8.69A	6.91A	8.77A	6.97A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.6V	35.3V	38.8V	35.4V	39.1V	35.4V	39.4V	35.6V	39.6V	35.7V
Short-circuit Current (Isc)	9.03A	7.36A	9.09A	7.38A	9.15A	7.44A	9.20A	7.99A	9.26A	8.05A
Module Efficiency STC (%)	16.19%		16.50%		16.80%		17.11%		17.41%	
Operating Temperature(°C)					-40°C~+85°C					
Maximum system voltage					1000VDC (IEC)					
Maximum series fuse rating					20A					
Power tolerance					0~+3%					
Temperature coefficients of Pmax					-0.38%/°C					
Temperature coefficients of Voc					-0.31%/°C					
Temperature coefficients of Isc					0.06%/°C					
Nominal operating cell temperature (NOCT)					45±2°C					

STC: ☀ Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> 📖 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m<sup>2</sup> 📖 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Wind Speed 1m/s

\* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JKM265-285PP-60-A1-EN



/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



## FRONIUS PRIMO

/ Solutions for a brighter tomorrow.



/ PC board replacement process



/ SnapINverter mounting system



/ Wi-Fi® interface



/ Design Flexibility



/ Smart Grid Ready



/ Arc Fault Circuit Interruption



/ With power categories ranging from 3.8 kW to 15.0 kW, the transformerless Fronius Primo is the ideal compact single-phase inverter for residential applications. The sleek design is equipped with the SnapINverter hinge mounting system which allows for lightweight, secure and convenient installation. The Fronius Primo has several integrated features that set it apart from competitors including dual powerpoint trackers, high system voltage, a wide input voltage range, Wi-Fi\* and SunSpec Modbus interface, and Fronius' online and mobile monitoring platform Fronius Solar.web. The Fronius Primo also works seamlessly with the Fronius Rapid Shutdown Box as a reliable rapid shutdown solution outside the PV Array boundary.

### TECHNICAL DATA FRONIUS PRIMO

GENERAL DATA	FRONIUS PRIMO 3.8 - 8.2	FRONIUS PRIMO 10.0-15.0
Dimensions (width x height x depth)	16.9 x 24.7 x 8.1 in.	20.1 x 28.5 x 8.9 in.
Weight	47.29 lb.	82.5 lbs.
Protection Class	NEMA 4X	
Night time consumption	< 1 W	
Inverter topology	Transformerless	
Cooling	Variable speed fan	
Installation	Indoor and outdoor installation	
Ambient operating temperature range	-40 - 131°F (-40 - 55°C)	-40 - 140°F (-40 - 60°C)
Permitted humidity	0 - 100 %	
Elevation	4000m (13123 ft)	
DC connection terminals	4x DC+ and 4x DC- screw terminals for copper (solid / stranded / fine stranded) or aluminum (solid / stranded)	4x DC+1, 2x DC+2 and 6x DC- screw terminals for copper (solid / stranded / fine stranded) or aluminum (solid / stranded)
AC connection terminals	Screw terminals 12 - 6 AWG	
Revenue Grade Metering	Optional (ANSI C12.1 accuracy)	
Certificates and compliance with standards	UL 1741:2010 Second Edition (incl. UL1741 Supplement SA 2016-09 for California Rule 21 and Hawaiian Electric Code Rule 14H), UL1998 (for functions: AFCI, RCMU and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC 2017 Article 690, C22. 2 No. 107.1-16, UL1699B Issue 2 -2013, CSA T11. M-07 Issue 1 - 2013	UL 1741:2010 Second Edition (incl. UL1741 Supplement SA 2016-09 for California Rule 21 and Hawaiian Electric Code Rule 14H), UL1998 (for functions: AFCI, RCMU and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC 2017 Article 690, C22. 2 No. 107.1-16, UL1699B Issue 2 -2013, CSA T11. M-07 Issue 1 -2013

PROTECTIVE DEVICES	STANDARD WITH ALL PRIMO MODELS
DC reverse polarity protection	Yes
Anti Islanding	Internal; in accordance with UL 1741:2016-09, IEEE 1547-2003 and NEC 2017
Over temperature protection	Output power derating/ Active cooling
AFCI	Yes
Rapid shutdown compliant	Per Sect. 690.12 of 2014 (of NEC 2017 prior to Jan 2019)
Ground Fault Protection with Isolation Monitor Interrupter	Yes
DC disconnect	Yes
INTERFACES	STANDARD WITH ALL PRIMO MODELS
USB (A socket)	Datalogging and inverter update possible via USB
2x RS422 (RJ45 socket)	Fronius Solar Net, interface protocol
Wi-Fi®/Ethernet LAN	Wireless standard 802.11 b/g/n/Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSON
Datalogger and Webserver	Included
Serial RS485	SunSpec Modbus RTU or meter connection
6 inputs or 4 digital inputs/outputs	Load management; signaling, multipurpose I/O

\*The term Wi-Fi® is a registered trademark of the Wi-Fi Alliance.

## TECHNICAL DATA FRONIUS PRIMO

INPUT DATA		PRIMO 3.8-1	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 7.6-1	PRIMO 8.2-1
Recommended PV power (kWp)		3.0 - 6.0 kW	4.0 - 7.8 kW	4.8 - 9.3 kW	6.1 - 11.7 kW	6.6 - 12.7 kW
Max. usable input current (MPPT 1/MPPT 2)		18 A / 18 A				
Max. usable input current (MPPT 1+MPPT 2)		36 A				
Max. array short circuit current (1.5* Imax) (MPPT1/MPPT2)		27 A / 27 A				
Nominal input voltage		410 V	420 V	420 V	420V	420 V
Operating voltage range		80 V - 600 V				
DC startup voltage		80 V				
MPP Voltage Range		200-480 V	200-400 V	240-480 V	250-480 V	270-480 V
Max. input voltage		600 V (1000 V optional <sup>1</sup> )				
Admissible conductor size DC		AWG 14 - AWG 6 copper (solid / stranded / fine stranded)(AWG 10 copper or AWG 8 aluminium for overcurrent protective devices up to 60A, from 61 to 100A minimum AWG 8 for copper or AWG 6 aluminium has to be used) , AWG 6 - AWG 2 copper(solid / stranded) MultiContactWiringable with AWG 12				
Number of MPPT		2				

OUTPUT DATA		PRIMO 3.8-1	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 7.6-1	PRIMO 8.2-1
Max. output power		208 V/240 V	3800 VA/3800 VA	5000 VA/5000 VA	6000 VA/6000 VA	7900 VA/8200 VA
Output configuration		208/240 V				
Frequency range (adjustable)		45.0 - 55.0 Hz / 50 - 66 Hz				
Operating frequency range default for CAL setups		~ / 58.5 - 60.5 Hz				
Operating frequency range default for HI setups		~ / 57.0 - 63.0 Hz				
Nominal operating frequency		60 Hz				
Admissible conductor size AC		AWG 14 - AWG 6				
Total harmonic distortion		< 5.0 %				
Power factor range		0.85 l ind./cap				
Max. continuous output current		208 V	18.3 A	24.0 A	28.8 A	38.0 A
		240 V	15.8 A	20.8 A	25.0 A	34.2 A
OCPD/AC breaker size		208V	25 A	30 A	40 A	50 A
		240 V	20 A	30 A	35 A	45 A
Max. Efficiency		96.7 %				
CEC Efficiency		95.0 %				

INPUT DATA		PRIMO 10.0-1	PRIMO 11.4-1	PRIMO 12.5-1	PRIMO 15.0-1
Recommended PV power (kWp)		8.0 - 12.0 kW	9.1 - 13.7 kW	10.0 - 15.0 kW	12.0 - 18.0 kW
Max. usable input current (MPPT 1/MPPT 2)		33.0 / 18.0 A			
Max. usable input current (MPPT 1+MPPT 2)		51 A			
Max. array short circuit current (1.5 * Imax)		49.5 A / 27.0			
Nominal input voltage		655 V	660 V	665 V	680 V
Operating voltage range		80 V - 1000 V			
DC startup voltage		80 V			
MPP Voltage Range		220-800 V	240-800 V	260-800 V	320-800 V
Max. input voltage		1000 V			
Admissible conductor size DC		AWG 14 - AWG 6 copper direct, AWG 6 aluminium direct (AWG 10 copper or AWG 8 aluminium for overcurrent protective devices up to 60A, from 61 to 100A minimum AWG 8 for copper or AWG 6 aluminium has to be used), AWG 4 - AWG 2 copper or aluminium with optional input combiner			
Number of MPPT		2			
Integrated DC string fuse holders		4- and 4+ for MPPT 1 / no fusing required on MPPT 2			

OUTPUT DATA		PRIMO 10.0-1	PRIMO 11.4-1	PRIMO 12.5-1	PRIMO 15.0-1
Max. output power		208 V/240 V	9995 VA/9995 VA	11400 VA/11400 VA	12500 VA/12500 VA
Output configuration		1 - NPE 208/240 V			
Frequency range (adjustable)		45-55 Hz / 50-66 Hz			
Operating frequency range default for CAL setups		~ / 58.5 - 60.5 Hz			
Operating frequency range default for HI setups		~ / 57.0 - 63.0 Hz			
Nominal operating frequency		60 Hz			
Admissible conductor size AC		AWG 10- AWG 2 copper (solid/stranded/fine stranded)(AWG 10 copper or AWG 8 aluminium for overcurrent protective devices up to 60 A, from 61 to 100A minimum AWG 6 aluminium has to be used), AWG 6-AWG 2 copper (solid/stranded) Multi Contact Wiringable with AWG 12			
Total harmonic distortion		< 2.5 %			
Power factor range		0.1 ind./cap.			
Max. continuous output current		208 V	48.1 A	51.8 A	60.1 A
		240 V	41.6 A	47.5 A	62.5 A
OCPD/AC breaker size		208 V	70 A	70 A	80 A
		240 V	60 A	60 A	80 A
Max. Efficiency		96.7 %			
CEC Efficiency 600 V / 1000 V		240 V	96.0 % / 96.5 %		96.5 % / 97.0 %

<sup>1</sup> inverter rated for up to 1000 V open-circuit, Nominal, Operating, and MPP voltages based on 600 V system design. Actual DC system voltage is dependent on PV string-sizing, not inverter input capacity.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

### THREE BUSINESS UNITS, ONE GOAL: TO SET THE STANDARD THROUGH TECHNOLOGICAL ADVANCEMENT.

What began in 1945 as a one-man operation now sets technological standards in the fields of welding technology, photovoltaics and battery charging. Today, the company has around 3,800 employees worldwide and 1,242 patents for product development show the innovative spirit within the company. Sustainable development means for us to implement environmentally relevant and social aspects equally with economic factors. Our goal has remained constant throughout: to be the innovation leader.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com)

v08 Aug 2017 EN

M06.0229.EN-US

USA REV 04/09/18

Fronius USA LLC

6797 Fronius Drive

Portage, IN 46368 USA

[pv-support-usa@fronius.com](mailto:pv-support-usa@fronius.com)

[www.fronius-usa.com](http://www.fronius-usa.com)





## INVERSOR DE RED SMA SUNNY BOY 2.0

- ✧ INVERSOR MONOFASICO/BIFASICO
- ✧ POTENCIA : 2,0KVA
- ✧ TENSION DE SALIDA : 220-240VAC
- ✧ TRACKER MPPT : 1
- ✧ INTERRUPTOR DC INCLUIDO
- ✧ NUEVA TECNOLOGIA SHADEFIX
- ✧ EFICIENCIA : 97,20%
- ✧ GARANTIA DE 5 AÑOS
- ✧ SIN TRANSFORMADOR
- ✧ MONITOREO WI-FI WEBCONNECT

**1 190\$/u\* PVP**

\*producto exento de IVA, en \$USD.  
Pedido mínimo a convenir.

Fig. 58: Cotización inversor SMA 2.0

Fuente: [https://heliostategiaecuador.com/?page\\_id=1402](https://heliostategiaecuador.com/?page_id=1402)

El valor comercial del inversor de red SMA Snny 2.0 se encuentra disponible en la página web [https://heliostategiaecuador.com/?page\\_id=1402](https://heliostategiaecuador.com/?page_id=1402) . Es una empresa francesa con más de 10 años de experiencia en energía solar con sedes en nuestro país ubicadas en: Quito, Cuenca, Guayaquil y Lago Agrio.

## SUNNY BOY 1.5 / 2.0 / 2.5 con SMA SMART CONNECTED



SB1.5-1VL-40 / SB2.0-1VL-40 / SB2.5-1VL-40



**Servicio inteligente con  
SMA Smart Connected**

### Compacto

- Montaje por parte de una sola persona gracias al bajo peso de 9,2 kg
- Mínima necesidad de espacio gracias a su diseño compacto

### Cómodo

- Instalación 100 % plug & play
- Monitorización en línea gratuita por medio de Sunny Places
- Servicio automatizado mediante SMA Smart Connected

### De gran rendimiento

- Aprovechamiento de la energía sobrante por la limitación de la potencia activa dinámica
- Gestión de las sombras mediante OptiTrac Global Peak

### Combinable

- Amplio rango de tensión de entrada
- Ampliable en cualquier momento con gestión inteligente de la energía y soluciones de almacenamiento
- Combinable con componentes TS4-R para la optimización de módulos

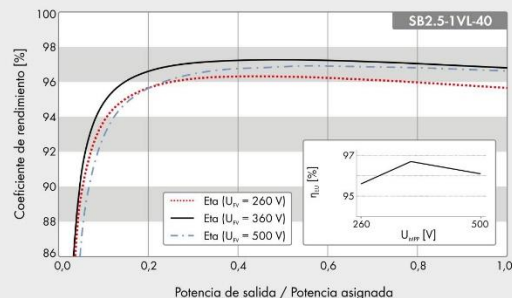
## SUNNY BOY 1.5 / 2.0 / 2.5

El nuevo modelo para las plantas fotovoltaicas pequeñas

El Sunny Boy 1.5 / 2.0 / 2.5 es el inversor perfecto para los clientes que tengan plantas fotovoltaicas de pequeño tamaño. Con su amplia zona de tensión de entrada que va de los 80 a los 600 V se puede utilizar en diversas situaciones, lo que le concede una elevada flexibilidad a la hora de elegir los módulos y es, además, muy fácil de instalar gracias a su reducido peso. Después de poner en marcha el Sunny Boy 1.5 / 2.0 / 2.5 de una manera muy cómoda a través de la interfaz de usuario integrada, el equipo puede llevar a cabo una monitorización local mediante su red inalámbrica o bien, en línea con el Sunny Portal o Sunny Places. Con el servicio técnico integrado, SMA Smart Connected ofrece un confort absoluto a los operadores de la planta e instaladores. La monitorización automática de inversores por parte de SMA analiza el funcionamiento, avisa de irregularidades y proporciona unos tiempos de inactividad mínimos.



### Curva de rendimiento



● De serie ○ Opcional – No disponible  
 Datos en condiciones nominales  
 Versión de diciembre de 2018

Datos técnicos	Sunny Boy 1.5	Sunny Boy 2.0	Sunny Boy 2.5
<b>Entrada (CC)</b>			
Potencia máx. del generador fotovoltaico	3000 Wp	4000 Wp	5000 Wp
Tensión de entrada máx.	600 V	600 V	600 V
Rango de tensión del MPP	160 V a 500 V	210 V a 500 V	260 V a 500 V
Tensión asignada de entrada		360 V	
Tensión de entrada mín. / de inicio		50 V / 80 V	
Corriente máx. de entrada por string		10 A	
Corriente de cortocircuito máx. por string		18 A	
Número de entradas de MPP independientes / strings por entrada de MPP		1 / 1	
<b>Salida (CA)</b>			
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	1500 W	2000 W	2500 W
Potencia máx. aparente de CA	1500 VA	2000 VA	2500 VA
Tensión nominal de CA		220 V / 230 V / 240 V	
Rango de tensión nominal de CA		180 V a 280 V	
Frecuencia de red de CA/Rango		50 Hz, 60 Hz / -5 Hz a +5 Hz	
Frecuencia / tensión asignadas de red		50 Hz / 230 V	
Corriente máx. de salida	7 A	9 A	11 A
Factor de potencia a potencia asignada		1	
Factor de desfase ajustable		0,8 inductivo a 0,8 capacitivo	
Fases de inyección / fases de conexión		1 / 1	
<b>Rendimiento</b>			
Rendimiento máx. / europeo	97,2 % / 96,1 %	97,2 % / 96,4 %	97,2 % / 96,7 %
<b>Dispositivos de protección</b>			
Punto de desconexión en el lado de CC		●	
Monitorización de toma a tierra / de red		● / ●	
Protección contra polarización inversa de CC / resistencia al cortocircuito de CA / con separación galvánica		● / ● / –	
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal		●	
Clase de protección (según IEC 62103) / categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)		I/III	
Protección contra corriente inversa		No es necesario.	
<b>Datos generales</b>			
Dimensiones (ancho / alto / fondo)		460 / 357 / 122 mm (18,1 / 14,1 / 4,8 in)	
Peso		9,2 kg (20,3 lb)	
Rango de temperatura de funcionamiento		-40 °C a +60 °C (-40 °F a +140 °F)	
Emisión sonora, típica		< 25 dB	
Autoconsumo (nocturno)		2,0 W	
Topología		Sin transformador	
Sistema de refrigeración		Convección	
Tipo de protección (según IEC 60529)		IP65	
Clase climática (según IEC 60721-3-4)		4K4H	
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)		100 %	
<b>Equipamiento</b>			
Conexión de CC/CA		SUNCLIX / conector de enchufe	
Visualización a través de teléfono inteligente, tableta o portátil		●	
Interfaces: WLAN / ethernet		● / ●	
Protocolos de comunicación		Modbus (SMA, Sunspec), Webconnect	
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 años		● / ○ / ○ / ○	
Certificados y autorizaciones (otros a petición)		AS4777, C10/11, CE, CEI021, DIN EN 62109-1/IEC 62109-1, DIN EN 62109-2/IEC 62109-2, EN50438, G83/2, IEC61727, IEC62116, NBR16149, NEN-EN50438, NRS097-2-1, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, VFR2014	
Disponibilidad de SMA Smart Connected en los países		AU, AT, BE, CH, DE, ES, FR, IT, LU, NL, UK	
Modelo comercial	SB1.5-1VL-40	SB2.0-1VL-40	SB2.5-1VL-40

## Anexo D: Cálculo de producción fotovoltaica mensual

De acuerdo con la fórmula planteada en la Ecuación (4) de la sección 2.6 se procede a realizar las siguientes operaciones:

$$PTfm = N^{\circ} \text{ días} * E_{mes} * \eta * n^{\circ} \text{ paneles} * A_{paneles}$$

Hay que tomar en cuenta los datos previamente analizados para obtener el valor de  $E_{mes}$ :

Entonces,

- Factor de consideración con respecto al ángulo de inclinación de 20°, de la tabla 2.3.

Valor k de inclinación a 20°											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1,04	1	0,95	0,88	0,83	0,81	0,83	0,88	0,95	1,01	1,05	1,06

- Radiación solar media – Ibarra de la tabla 3.2

kWh/m²día											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3,96	4,09	4,35	4,17	3,91	3,80	4,03	4,05	3,88	3,86	3,74	3,69

Entonces el valor de  $E_{mes}$  de enero es:

$$E_{mes} = (\text{valor K}) * (\text{radiación media})$$

$$E_{ene} = 1,04 * 3,96 = 4.12 \text{ kWh/m}^2\text{día}$$

Aplicado la formula a todos los meses se tiene:

kWh/m²día											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
4.12	4,09	4,13	3,67	3,25	3,08	3,34	3,56	3,69	3,90	3,93	3,91

El valor de  $\eta$  (eficiencia del panel) se lo toma de las especificaciones técnicas del panel de 390 W, panel con el cual se está realizando esta investigación el cual fue elegido después de realizar su respectivo análisis y calculo fotovoltaico.

$$\eta = 19.38 \% = 0.1938$$

Otros datos

$$n^{\circ} \text{ paneles} = 4$$

$$A_{\text{paneles}} = 2,01 \text{ m}^2$$

Resultados que se realizaron en el numeral 3.2.3

Ahora, si aplicando la formula principal de esta sección tenemos:

Enero

$$PT_{fm} = N^{\circ} \text{ días} * E * \eta * n^{\circ} \text{ paneles} * A_{\text{paneles}}$$

$$PT_{fm} = 31 * 4,12 * 0,1938 * 4 * 2,01$$

$$PT_{fm} = 199$$

Febrero

$$PT_{fm} = 28 * 4,09 * 0,1938 * 4 * 2,01$$

$$PT_{fm} = 178,44$$

Marzo

$$PT_{fm} = 31 * 4,13 * 0,1938 * 4 * 2,01$$

$$PT_{fm} = 199,49$$

Abril

$$PT_{fm} = 30 * 3,67 * 0,1938 * 4 * 2,01$$

$$PT_{fm} = 171,55$$

Mayo

$$PT_{fm} = 31 * 4,13 * 0,1938 * 4 * 2,01$$

$$PT_{fm} = 156,98$$

Junio

$$PT_{fm} = 30 * 3,08 * 0,1938 * 4 * 2,01$$

$$PT_{fm} = 143,97$$

Julio

$$PTfm = 31 * 3,34 * 0,1938 * 4 * 2,01$$

$$PTfm = 161,33$$

Agosto

$$PTfm = 31 * 3,56 * 0,1938 * 4 * 2,01$$

$$PTfm = 171,96$$

Septiembre

$$PTfm = 30 * 3,69 * 0,1938 * 4 * 2,01$$

$$PTfm = 172,49$$

Octubre

$$PTfm = 31 * 3,90 * 0,1938 * 4 * 2,01$$

$$PTfm = 188,38$$

Noviembre

$$PTfm = 30 * 3,93 * 0,1938 * 4 * 2,01$$

$$PTfm = 183,71$$

Diciembre

$$PTfm = 31 * 3,91 * 0,1938 * 4 * 2,01$$

$$PTfm = 188,86$$

#### Anexo E: Método de regresión lineal simple

X1	Y1	$X1 - \bar{X}$	$Y1 - \bar{Y}$	$(X1 - \bar{X})(Y1 - \bar{Y})$	$(X1 - \bar{X})^2$
2018	1459	-1,50	-127	63,50	2,25
2019	1723	-0,50	127	63,50	0,25
Total =				127,00	0,50

$$\bar{X} = 2018,5$$

$$\bar{Y} = 1596$$

Para establecer una proyección para los próximos 20 años y una posterior evaluación, se aplica la Ecuación (17):

(17)

$$Y_{año} = b_0 + b_1 * X1$$

(17. 1)

$$b_1 = \frac{\sum(X_1 - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum(X_1 - \bar{X})^2}$$

(17. 2)

$$b_0 = \bar{Y} - (b_1 * \bar{X})$$

Entonces,

$$b_1 = \frac{127}{0,50} = 254$$

$$b_0 = 1596 - (254 * 2018,5) = -511103$$

La proyección para los años 2020 hasta 2039 aplicando la ecuación (18)

$$Y_{2020} = -511103 + (254 * 2020) = 1977 \text{ kWh}$$

$$Y_{2021} = -511103 + (254 * 2021) = 2231 \text{ kWh}$$

$$Y_{2022} = -511103 + (254 * 2022) = 2485 \text{ kWh}$$

$$Y_{2023} = -511103 + (254 * 2023) = 2739 \text{ kWh}$$

$$Y_{2024} = -511103 + (254 * 2024) = 2993 \text{ kWh}$$

$$Y_{2025} = -511103 + (254 * 2025) = 3247 \text{ kWh}$$

$$Y_{2026} = -511103 + (254 * 2026) = 3501 \text{ kWh}$$

$$Y_{2027} = -511103 + (254 * 2027) = 3755 \text{ kWh}$$

$$Y_{2028} = -511103 + (254 * 2028) = 4009 \text{ kWh}$$

$$Y_{2029} = -511103 + (254 * 2029) = 4263 \text{ kWh}$$

$$Y_{2030} = -511103 + (254 * 2030) = 4517 \text{ kWh}$$

$$Y_{2031} = -511103 + (254 * 2031) = 4771 \text{ kWh}$$

$$Y_{2032} = -511103 + (254 * 2032) = 5025 \text{ kWh}$$

$$Y_{2033} = -511103 + (254 * 2033) = 5279 \text{ kWh}$$

$$Y_{2034} = -511103 + (254 * 2034) = 5533 \text{ kWh}$$

$$Y_{2035} = -511103 + (254 * 2035) = 5787 \text{ kWh}$$

$$Y_{2036} = -511103 + (254 * 2036) = 6041 \text{ kWh}$$

$$Y_{2037} = -511103 + (254 * 2037) = 6295 \text{ kWh}$$

$$Y_{2038} = -511103 + (254 * 2038) = 6549 \text{ kWh}$$

$$Y_{2039} = -511103 + (254 * 2039) = 6803 \text{ kWh}$$

$$Y_{2040} = -511103 + (254 * 2040) = 7057 \text{ kWh}$$

#### **Anexo F: Producción fotovoltaica con 5 y 8 paneles de 335W**

Aplicado el mismo proceso del Anexo D y la misma ecuación se tienen estos resultados en función de los 5 paneles solares de 335 W

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Área total	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
Eficiencia	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726
Radiación solar mes 20°	4,12	4,09	4,13	3,67	3,25	3,08	3,34	3,56	3,69	3,9	3,93	3,91
<b>Producción fotovoltaica efectiva</b>	213,83	191,73	214,35	184,33	168,68	154,70	173,35	184,77	185,34	202,41	197,39	202,93

La producción fotovoltaica anual es de: **2273,81 kWh**, el resultado de la simulación se muestra a continuación, la producción fotovoltaica es similar a la proyectada por los cálculos realizados (Figura 58).

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	1.68	kW
Mean Output	0.260	kW
Mean Output	6.23	kWh/d
Capacity Factor	15.5	%
Total Production	2,273	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	1.87	kW
PV Penetration	110	%
Hours of Operation	4,380	hrs/yr
Levelized Cost	0.198	\$/kWh

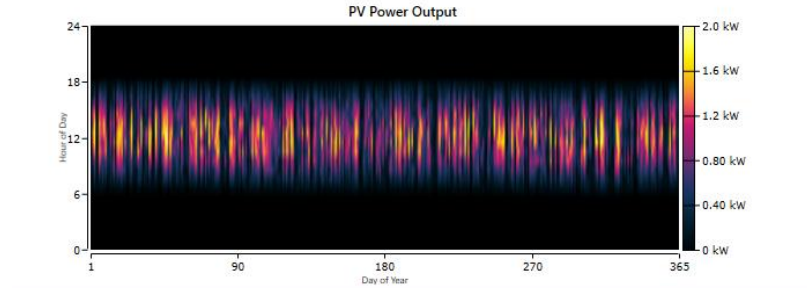


Fig. 58: Producción fotovoltaica KIT 5 paneles solares  
Fuente: Propia

También se realiza la operación con los 8 paneles de 335 W

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Área total	15,52	15,52	15,52	15,52	15,52	15,52	15,52	15,52	15,52	15,52	15,52	15,52
Eficiencia	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726	0,1726
Radiación solar mes 20°	4,12	4,09	4,13	3,67	3,25	3,08	3,34	3,56	3,69	3,9	3,93	3,91
<b>Producción fotovoltaica efectiva</b>	213,83	191,73	214,35	184,33	168,68	154,70	173,35	184,77	185,34	202,41	197,39	202,93

La producción fotovoltaica anual es de: **3638,09 kWh**, analizando con la Figura 59 de la simulación la producción es de **3637 kWh**, lo que respalda los resultados realizados

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	2.68	kW
Mean Output	0.415	kW
Mean Output	9.96	kWh/d
Capacity Factor	15.5	%
Total Production	3,637	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	2.98	kW
PV Penetration	177	%
Hours of Operation	4,380	hrs/yr
Levelized Cost	0.198	\$/kWh

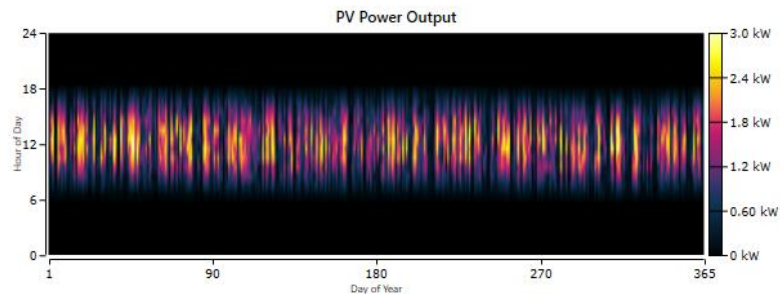


Fig. 59: Producción fotovoltaica KIT 8 paneles solares  
Fuente: Propia

## Anexo G: Inversión inicial

**KIT CONECTADO 5 PANELES 1,68KWP/1,6KVA**

- 5 PANELES MONOCRISTALINO DE 335WP
- POTENCIA PICO : 1,68KWP
- 1 INVERSOR BIFASICO 220-230VAC
- POTENCIA DE SALIDA : 1,6KVA
- MONITOREO WI-FI
- CABLE DC 4MM²
- CONECTORES MC4
- ESTRUCTURAS SOPORTES
- BREAKER AC (OPCION)
- CABLE AC (OPCION)

**1 680\$USD\* PVP**

\*producto exento de IVA.

HELIOS STRATEGIA ECUADOR C.A

Alexandre Gay

Gerente General y Representante Legal

RUC: 1792571405001

Mov: +593 983570150.

S kype: gayalexandre

Email: [alexandre.gay@heliostategiaecuador.com](mailto:alexandre.gay@heliostategiaecuador.com)

Página web : [www.heliostategiaecuador.com](http://www.heliostategiaecuador.com)



TABLA 3. 19  
Inversión inicial kit solar de 5 paneles de 335W

ÍTEMS	Descripción	Cantidad	Precio	Total
		Valor del kit solar		<b>1680.00</b>
1	Medidor Bidireccional	1	30,00	30.00
2	Varios	1	200,00	200.00
		Sub Total		1910.00
3	Instalación		15%	286.50
		<b>Total</b>		<b>2196.50</b>

Fuente: Tabla realizada por el autor, la recolección de la información de los kits solares se encuentra en la página web:  
[https://heliostategiaecuador.com/?page\\_id=1198](https://heliostategiaecuador.com/?page_id=1198)



**KIT CONECTADO  
8 PANELES  
2,68KWP/2,5KVA**

- ✦ 8 PANELES MONOCRISTALINO DE 335WP
- ✦ POTENCIA PICO : 2,68kWp
- ✦ 1 INVERSOR BIFASICO 220-230VAC
- ✦ POTENCIA DE SALIDA : 2,5KVA
- ✦ MONITOREO WI-FI
- ✦ CABLE DC 4MM<sup>2</sup>
- ✦ CONECTORES MC4
- ✦ ESTRUCTURAS SOPORTES
- ✦ BREAKER AC (OPCION)
- ✦ CABLE AC (OPCION)

**2 680\$USD\* PVP**  
\*producto evento de IVA.

**HELIOS STRATEGIA ECUADOR C.A**  
 Alexandre Gay  
 Gerente General y Representante Legal  
 RUC: 1792571405001  
 Mov: +593 983570150.  
 Skype: gayalexandre  
 Email: [alexandre.gay@heliostategiaecuador.com](mailto:alexandre.gay@heliostategiaecuador.com)  
 Página web : [www.heliostategiaecuador.com](http://www.heliostategiaecuador.com)

**MS Integrity Solutions**  
**APPROVED**  
 CALIFICACIÓN DE PROVEEDORES  
[WWW.MSINTEGRITYSOLUTIONS.COM](http://WWW.MSINTEGRITYSOLUTIONS.COM)

TABLA 3. 20:  
Presupuesto de la inversión inicial

ÍTEMS	Descripción	Cantidad	Precio	Total
		Valor del kit solar		<b>2680.00</b>
1	Medidor Bidireccional	1	30,00	30.00
2	Varios	1	200,00	200.00
			Sub Total	2910.00
3	Instalación		15%	436.50
			<b>Total</b>	<b>3346.50</b>

Fuente: Tabla realizada por el autor, la recolección de la información de los kits solares se encuentra en la página web:  
[https://heliostategiaecuador.com/?page\\_id=1198](https://heliostategiaecuador.com/?page_id=1198)

## Anexo H: Tratamiento comercial kits solar de 5 paneles de 335W

La Tabla 3.21 muestra el tratamiento comercial de generación eléctrica fotovoltaica inyectada a la red vs el consumo proyectado desde el año 2021 hasta 2040, tiempo de vida del proyecto

TABLA 3. 21:  
Tratamiento comercial kit solar 5 paneles

Año	Consumo kWh	Energía fotovoltaica efectiva kWh	Diferencia kWh	Saldo USD/kWh
2021*	2231	2274	-43	tb
2022*	2485	2258 + 43	184	17,85 + tb
2023	2739	2242	503	48,79 + tb
2024	2993	2226	767	74,40 + tb

2025	3247	2210	1037	100,59 + tb
2026	3501	2194	1307	126,78 + tb
2027	3755	2178	1577	152,97 + tb
2028	4009	2162	1847	179,16 + tb
2029	4263	2146	2117	205,35 + tb
2030	4517	2131	2386	231,44 + tb
2031	4771	2115	2656	257,63 + tb
2032	5025	2099	2926	283,82 + tb
2033	5279	2083	3196	310,01 + tb
2034	5533	2067	3466	336,20 + tb
2035	5787	2051	3736	362,39 + tb
2036	6041	2035	4006	388,58 + tb
2037	6295	2019	4276	414,77 + tb
2038	6549	2003	4546	440,96 + tb
2039	6803	1987	4816	467,15 + tb
2040	7057	1971	5086	493,34 + tb
			Total	4448,00 + tb

Fuente: Propia

El valor aproximado a pagar a la empresa eléctrica de no existir el sistema fotovoltaico es de \$ 9009,36 USD + tb, sin embargo, con la instalación del sistema el saldo es de \$ 4448,00 USD + tb lo que representa un ahorro de \$ 4561, 36 USD + tb

NOTA: A los valores presentados el usuario debe pagar el adicional de la tarifa básica (tb).

### Anexo I: Tratamiento comercial kits solar de 8 paneles de 335W

La Tabla 3.22 muestra el tratamiento comercial de generación eléctrica fotovoltaica inyectada a la red vs el consumo proyectado desde el año 2021 hasta 2040, tiempo de vida del proyecto

TABLA 3. 22:  
Tratamiento comercial kit solar 8 paneles

Año	Consumo kWh	Energía fotovoltaica efectiva kWh	Diferencia kWh	Saldo USD/kWh
2021*	2231	3638	-1407	tb
2022*	2485	3613 + 1407	-2535	tb
2023	2739	3587 + 2535	Reset.	tb
2024	2993	3562	-569	tb
2025	3247	3536 + 569	-858	tb
2026	3501	3511 + 858	Reset.	tb
2027	3755	3485	270	204,30 + tb
2028	4009	3460	549	189,50 + tb
2029	4263	3434	829	175,76 + tb

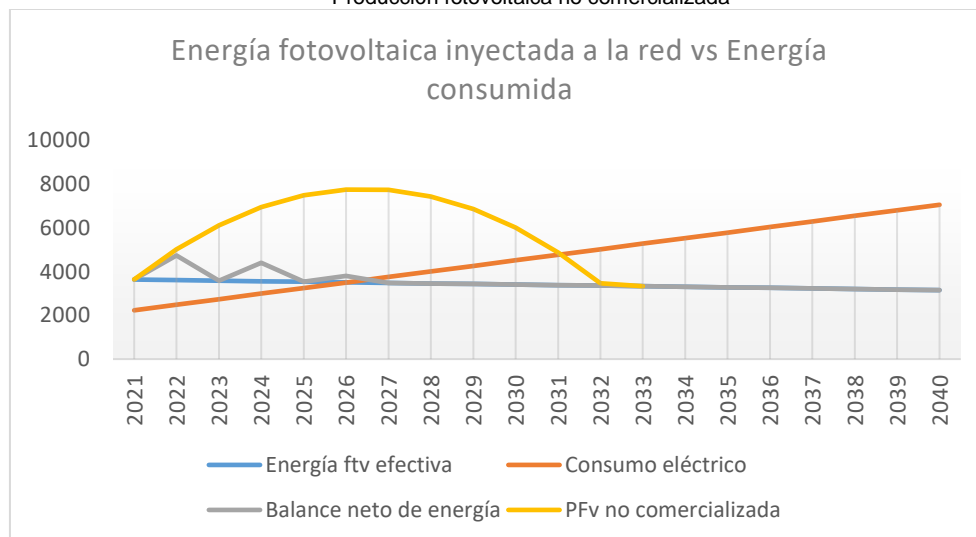
2030	4517	3409	1108	163,00 + tb
2031	4771	3383	1388	151,17 + tb
2032	5025	3358	1667	140,18 + tb
2033	5279	3332	1947	129,98 + tb
2034	5533	3307	2226	120,52 + tb
2035	5787	3281	2506	111,74 + tb
2036	6041	3256	2785	103,60 + tb
2037	6295	3231	3064	96,04 + tb
2038	6549	3205	3344	89,02 + tb
2039	6803	3180	3623	82,52 + tb
2040	7057	3154	3903	76,48 + tb
			Total	2833,23 + tb

Fuente: Propia

El tratamiento comercial de la energía eléctrica es el mismo del anterior, entonces, el valor aproximado a pagar a la empresa eléctrica de no existir el sistema fotovoltaico es de \$ 9009,36 USD + tb, sin embargo, con la instalación del sistema el saldo es de \$ 2833,23 USD + tb, lo que representa un ahorro de \$ 6176, 13 USD + tb.

Para este caso de estudio, nótese que la producción fotovoltaica supera al consumo de la red en los primeros seis años lo que significa que existen excedente de energía fotovoltaica los cuales son reseteados cada dos años, este proceso se lo realiza de acuerdo con la regulación Nro. ARCONEL 003/18. Al reiniciar los excedentes el usuario no recibe compensación económica por estos excedentes. La Tabla 3.23 muestra el comportamiento de producción fotovoltaica no comercializada por la empresa eléctrica.

TABLA 3. 23:  
Producción fotovoltaica no comercializada



Fuente: Propia

## Anexo J: Fotografías



Casa de estudio



Parte superior de la vivienda (techo)